

BULLETIN DES SÉANCES
DE LA
SOCIÉTÉ DES SCIENCES
DE NANCY

Ancienne Société des Sciences Naturelles de Strasbourg

FONDÉE EN 1828

Série III. — Tome XII. — Fascicules I, II, III, IV

12^e ANNÉE — 1911

NANCY
IMPRIMERIE ALBERT BARBIER
4, QUAI CHOISEUL, 4

1912

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

Séance du 16 janvier

M. Grand'Eury ouvre la séance et donne la parole à M. Grélot pour la lecture du procès-verbal de la dernière séance.

M. Goury, trésorier, donne lecture du compte rendu financier de l'année 1910 : les comptes sont approuvés à l'unanimité. M. Grand'Eury cède la présidence à M. Nicklès, qui remercie la Société de l'avoir appelé à la présidence et formule des vœux pour sa prospérité et l'augmentation du nombre de ses membres.

Nécrologie. — M. Nicklès fait part de la mort récente de M. Mathieu Mieg, dont il rappelle la carrière scientifique. D'une famille d'industriels de Mulhouse, Mathieu Mieg a fait de nombreux travaux sur la géologie et l'archéologie préhistorique de l'Alsace ; il fut un collaborateur de Bleicher et Fliche, et un bon nombre de ses études ont paru dans le *Bulletin* de la Société.

Correspondance. — M. le D^r Benech, nommé vice-président et M. le D^r Gross, nommé administrateur, ont adressé des lettres de remerciements à la Société.

La Société a reçu une invitation à participer à la quatrième Conférence internationale de génétique qui aura lieu à Paris, du 18 au 23 septembre 1911.

Le directeur du Service géologique de Belgique adresse une demande d'échange du *Bulletin* contre les publications du service comprenant les volumes parus de la *Bibliographia geologica* et les textes explicatifs de la carte géologique manuscrite au 20 000^e. Il est décidé de surseoir à la décision et de recueillir des renseignements plus complets sur ces publications.

M. le directeur du Service municipal d'hygiène demande l'échange du *Bulletin* contre le *Bulletin de statistique démographique de la ville de Nancy*. Considérant que cette publication se trouve déjà à la Bibliothèque municipale et que le service d'hygiène ne constitue pas d'ailleurs un établissement scientifique indépendant, la Société décide de ne pas donner suite à cette demande.

COMMUNICATIONS

M. CUIF : *L'Oidium du chêne ; action du soufrage en pépinière* (insérée au *Bulletin*).

M. GOURY : 1^o *Une pierre sculptée de l'époque néolithique ;*

2^o *Deux nouveaux cas de syphilis à l'époque barbare.*

La première de ces communications donne lieu à quelques observations de MM. Vuillemin et Mer.

M. le D^r Benech présente une observation à la suite de la seconde communication de M. Goury.

Le Secrétaire annuel,
GUINIER.

Séance du 1^{er} février

Présidence de M. le D^r BENECH

Correspondance. — M. Nicklès, président, et M. Grélot, secrétaire général, empêchés, s'excusent de ne pouvoir assister à la séance.

Le ministère de l'Instruction publique et des Beaux-arts accuse réception du dernier *Bulletin* de la Société.

COMMUNICATION

UNE APPLICATION MILITAIRE DES LOIS DE L'OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE RECHERCHE DES BLESSÉS PENDANT LES NUITS OBSCURES

M. Benech expose sommairement comment se pose la question au point de vue de la tactique et de l'exécution. On a essayé tout d'abord de supprimer l'obscurité en employant des sources lumineuses assez puissantes pour laisser les exécutants dans des conditions d'acuité visuelle normale sur des espaces suffisamment étendus; pour cela, il semble que, partant de la formule $E = \frac{I}{d^2}$, on n'ait considéré que le facteur I, se disant qu'en faisant l'intensité I de la source lumineuse suffisamment grande, on peut toujours obtenir la visibilité habituelle des objets sur une surface aussi grande qu'on pourra le désirer.

Les appareils imaginés pour obtenir ce résultat ne sont pas sans présenter des inconvénients divers; prix de revient élevé, poids, peu de sécurité tactique, impossibilité de pourvoir les petites unités détachées, opposition violente d'ombre et de lumière qui rend à peu près invisible tout ce qui se trouve dans les cônes d'ombre portée.

Envisageant le problème sous un autre angle, on peut se demander s'il ne serait pas possible de se servir de l'obscurité, non pas pour y voir mieux, mais pour y voir plus utilement: un peu comme les aviateurs se servent de la résistance de l'air pour vaincre la pesanteur. Pratiquement, l'éclairement d'un espace est représenté par l'expression :

$E = K \frac{I \cos \alpha}{d^2}$; l'angle α correspond à l'angle que fait la direction moyenne des rayons avec la normale à la surface éclairée; K correspond à l'absorption de la lumière par l'air qui varie suivant la pureté et l'épaisseur de la couche d'air traversée. Par conséquent on peut voir déjà: qu'il y a tout intérêt à rapprocher la source lumineuse de la plage à éclairer, puisque l'éclairement varie comme l'inverse du carré de la distance de la source lumineuse; qu'on réduit l'absorption

par l'air, et qu'en étant assez près on est le maître pour ainsi dire de l'angle α , c'est-à-dire de l'obliquité des rayons; tels sont les avantages que peut donner l'emploi de la lanterne individuelle.

Ces considérations sont tirées exclusivement de l'optique physique, mais la vision des objets est une fonction physiologique, dans laquelle intervient notre sensibilité rétienne. Il y a lieu de distinguer soigneusement l'acuité visuelle de la sensibilité lumineuse différentielle. L'acuité visuelle nous sert à distinguer les objets, elle diminue avec l'éclairement; quand le jour tombe pendant une lecture, nous cessons de distinguer les lettres lorsque nous continuons à distinguer les différences d'éclairement des blancs et des noirs de la page. La visibilité habituelle des objets implique un éclairement variable dans les limites de la clarté moyenne du jour et est incompatible avec l'obscurité. C'est pourquoi on est conduit à faire appel à la sensibilité lumineuse différentielle de la rétine, plutôt qu'à l'acuité visuelle ou pouvoir discriminateur. Or, la rétine s'adapte merveilleusement à l'obscurité. Le professeur Charpentier, de la Faculté de médecine de Nancy, a fait voir que dans l'obscurité la rétine est 2.500 fois plus sensible qu'à la lumière moyenne du jour. Donc nous aurons intérêt à conserver la rétine dans l'obscurité, en employant des lanternes sourdes munies d'écrans convenablement disposés, à n'éclairer le sol que dans les limites nécessaires pour percevoir les différences d'éclairement des objets reposant sur le sol, différence d'éclairement qui varie en raison du pouvoir absorbant des surfaces éclairées et de l'angle d'incidence des rayons lumineux par rapport à ces mêmes surfaces. Donc nous sommes amenés à rechercher le moindre éclairement praticable.

Mais faut-il encore qu'on puisse distinguer un blessé. C'est ici qu'intervient un autre facteur d'ordre cérébral. Quand on distingue et définit un objet on prononce un jugement dans lequel intervient, à côté de l'impression sensorielle actuelle, une représentation mentale. C'est la résultante de ces deux impressions qui nous donne la sensation visuelle complète et permet la reconnaissance de l'objet. C'est pourquoi, dans le cas particulier qui nous occupe, on ne verra pas le détail comme au jour moyen, mais il suffit de percevoir une silhouette pour dire: il y a quelque chose, et aller voir de près. Mais, par l'exercice, on emmagasine d'autres images mentales correspondant aux apparences que donnent les blessés, et de cette manière sont rendues possibles d'autres synthèses mentales qui permettent une discrimination suffisante. C'est une question d'entraînement.

L'éclairage oblique exagère les saillies apparentes du sol, ce qui facilite la reconnaissance des objets et par conséquent la découverte des blessés, mais aussi surprend un peu le marcheur qui, à ce point de vue, doit encore faire son éducation. Ces considérations s'appliquent à tous les rayons très obliques, qu'ils proviennent d'une source lumineuse intense, ou d'une source lumineuse très faible.

La pratique a fait voir que, par une nuit obscure, la lumière d'une

bougie ordinaire placée dans une lanterne permet d'éclairer une plage d'un rayon représentant 3 ou 4 fois la hauteur du porteur, ce qui est parfaitement suffisant. En se rapprochant du blessé on distingue assez nettement les objets pour pouvoir lui donner les soins urgents et le placer convenablement sur le brancard.

Les brancardiers fournissent un moindre rendement lorsqu'ils opèrent dans l'obscurité. Du reste, on observe ce moindre rendement même avec des sources lumineuses très puissantes : cela tient à ce que toutes nos coordinations sensorielles et motrices se trouvent, par le fait, ralenties. On a pu dans certains cas mesurer cette influence retardatrice. Elle est susceptible de diminuer chez les hommes bien entraînés; des mesures de ce genre n'ont pu être faites chez les brancardiers.

Ce système, qui a donné d'excellents résultats dans les exercices de nuit exécutés dans ces dernières années, s'appuie sur les lois : de l'optique mathématique; de l'optique physique; de l'optique physiologique et de l'optique psychophysiologique.

M. Benech termine sa communication en montrant comment ses considérations s'appliquent aux signaux lumineux et aux feux de direction.

A la suite de cette communication, M. Guntz présente quelques observations.

Le Secrétaire annuel,
GUINIER.

Séance du 15 février

Présidence de M. le Dr BENECH

Correspondance. — Le ministère de l'Instruction publique et des Beaux-arts accuse réception d'un *Bulletin* de la Société qui a été transmis au directeur du Muséum du Wisconsin.

Le président de la Société d'Histoire naturelle de la Haute-Marne réclame un fascicule du *Bulletin* qui ne lui est pas parvenu.

COMMUNICATION

MM. BRUNTZ et L. SPILLMANN : *Contribution à l'étude de la fonction éliminatrice des leucocytes.*

A la suite de cette communication, qui sera insérée *in extenso* au *Bulletin*, une discussion s'engage entre M. Bruntz et MM. le Dr Benech, Mer, Guntz et Coppey.

Le Secrétaire annuel,
GUINIER.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA FONCTION ÉLIMINATRICE DES LEUCOCYTES

PAR

L. BRUNTZ

et

L. SPILLMANN

Chargé de Cours à l'École supérieure de Pharmacie

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine

DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

SOMMAIRE

INTRODUCTION. — 1^{re} PHASE DE FIXATION. *Fixation des substances colorantes par les leucocytes.* Historique. Technique. Résultats expérimentaux. Mécanisme de la fixation des réactifs colorés. Signification physiologique de la coloration vitale des leucocytes. — 2^{de} PHASE DE TRANSPORT. Phénomènes d'hypoleucocytose et d'hyperleucocytose. Destinée des globules éliminateurs. Signification physiologique de l'hypoleucocytose. — 3^{de} PHASE D'EXCRÉTION. Signification physiologique de l'hyperleucocytose. — CONCLUSIONS.

INTRODUCTION

Les Physiologistes attribuent de nombreuses fonctions aux leucocytes des Invertébrés et des Vertébrés; ils les considèrent comme des organes glandulaires divers, des cellules d'édification du tissu conjonctif, des cellules de transport, des éléments phagocytaires et excréteurs, etc.

Depuis plus de deux ans, au cours de nos recherches sur l'élimination des substances colorées injectées dans la cavité générale des Invertébrés et dans l'appareil circulatoire des Vertébrés, notre attention a été attirée sur le rôle joué par les globules blancs comme agents de fixation et de transport des substances étrangères à l'organisme. C'est l'étude de cette fonction des leucocytes qui fait l'objet de ce mémoire. Dans un deuxième travail destiné à être également publié dans ce Bulletin, nous chercherons à expliquer par le rôle de transport des globules, le mécanisme d'action de certains agents thérapeutiques; enfin, dans un

troisième mémoire qui doit paraître prochainement dans les *Archives de Médecine expérimentale et de Pathologie générale*, nous examinerons les phénomènes physiologiques d'élimination des substances étrangères à l'organisme dans leurs rapports avec les processus pathologiques.

Avant d'aborder l'examen des faits et de chercher à les interpréter, nous croyons utile de donner quelques définitions.

Nous entendons par *élimination*, l'ensemble des phénomènes de défense employés par l'individu vis-à-vis des substances étrangères à l'organisme.

Sous la désignation de *substances étrangères à l'organisme*, nous comprenons tous les corps qui ne peuvent être utilisés directement ou qui ne sont pas susceptibles par décomposition de présenter une source d'énergie pour l'individu. Indépendamment de corps gazeux (acide carbonique) et de poisons volatils, ce sont des éléments figurés et des substances liquides ou se présentant à l'état colloïdal. Ces corps sont, par exemple, les déchets normaux de l'activité vitale (éléments cellulaires vieillis ou mortifiés, produits d'excrétion physiologique, cytotoxines, etc.) et de nombreux corps introduits par n'importe quelle voie, soit dans un but alimentaire, soit dans un but médicamenteux, soit accidentellement (microorganismes et leurs produits de sécrétion), soit enfin dans un but expérimental (bouillons de cultures, encre de Chine, carmin, solutions salines, solutions colorées, etc.). Non seulement tous ces corps sont sans utilité pour l'organisme, mais ils sont tous nuisibles, les uns parce qu'ils sont plus ou moins toxiques, les autres, parce qu'ils peuvent, en s'accumulant, gêner le bon fonctionnement des organes.

Dès que les corps dont nous venons de parler sont introduits dans l'organisme, même en très petite quantité, l'individu sain, par réaction défensive, s'en débarrasse très rapidement : *il les élimine*.

Les phénomènes d'élimination des éléments figurés (phagocytose) sont bien connus chez les Invertébrés et chez les Vertébrés. Nous ne les étudierons pas ici car nous n'avons en vue, dans ce travail, que l'élimination des liquides ou des substances se présentant à l'état colloïdal¹.

1. L'élimination des substances liquides étrangères s'effectue comme celle des solutions colloïdales ainsi qu'en témoigne l'analogie des figures cytologiques des éléments

L'élimination de ces substances comprend plusieurs temps qui sont :

1° Leur fixation par certaines formes de leucocytes (*Phase de fixation*);

2° Leur transport par ces éléments figurés (*Phase de transport*);

3° Leur décharge dans les organes d'excrétion, reins clos ou ouverts (*Phase d'excrétion*)¹.

C'est dans cet ordre chronologique des faits que nous étudierons les processus d'élimination des substances étrangères à l'organisme.

1° Phase de fixation

On sait que la composition des milieux de l'organisme, notamment celle du sang, est parfaitement définie et presque impossible à faire varier.

Bouchard (1901) dans son *Traité de Pathologie* a fait remarquer « la singulière propriété que possède le sang de se débarrasser rapidement de tout élément étranger, qu'il s'agisse de matières solubles ou d'agents figurés ».

Morat et Doyon (1904) signalent, eux aussi, dans leur *Traité de Physiologie* : « la rapidité avec laquelle le sang se débarrasse de toute substance étrangère que l'on fait pénétrer dans la circulation, comme aussi de tout excès de substances normales ».

Un nombre considérable de travaux épars permettent, semble-t-il, d'attribuer un rôle primordial à l'action exercée par les leucocytes sur toutes substances introduites dans l'organisme. En effet, indépendamment des particules solides que les globules

jouant un rôle éliminateur. On retrouve, en effet, par exemple, les mêmes images dans les cellules rénales, qu'il s'agisse de l'élimination d'une solution d'un sel de fer (solution véritable) ou d'une solution de carmin ammoniacal (solution colloïdale).

1. Nous insistons sur ce fait que l'excrétion n'est qu'une phase dernière de l'élimination.

Chez les Métazoaires, il y a lieu de distinguer l'excrétion cellulaire de l'excrétion proprement dite. Chez eux, chaque cellule rejette dans le sang, un certain nombre de produits; les uns peuvent être réemployés par divers éléments cellulaires ou jouer un rôle utile (diastases), les autres, complètement inutilisables, sont destinés à être séparés de l'individu. C'est la somme de ces derniers qui, pour un individu considéré, constitue les *produits dits d'excrétion*.

La séparation des corps d'excrétion se fait, comme on le sait, par les reins ouverts qui rejettent au dehors les produits excrétés et par les néphrophagocytes (cellules closes) qui les accumulent dans leur cytoplasme.

peuvent capturer, on sait aussi que ces éléments peuvent fixer un grand nombre de corps en dissolution ainsi que des « solutions colloïdales ». Par exemple, il est prouvé, soit par des réactions microchimiques, soit par l'analyse, que les leucocytes vivants fixent des solutions simples ou colloïdales :

1° de corps simples : l'iode (Labbé et Lortat-Jacob, 1902), le collargol (Carles, 1904);

2° d'acides et de sels : le saccharate de fer (Kobert, 1893-1894; Metchnikoff, 1894), l'acide citrique, le sublimé (Stassano, 1898), l'arsénite de potasse (Besredka, 1899), les sels solubles d'argent (Samoïloff, 1899), le salicylate de soude (Arnozan et Montel, 1900), le tartrate ferrico-potassique, l'iodure ferreux (Carles, 1904), le ferrocyanure de potassium (Feuillié, 1909);

3° d'alkaloïdes : la strychnine et l'atropine (Lombard, 1901)¹, la morphine (Lancelin, 1902);

4° de substances très diverses comme : la peptone, le glucose (Gabristchewsky, 1891), le curare, le venin de serpents (Stassano, 1899), la lécithine (Stassano et Billon, 1902)²;

5° de toxines. La fixation des toxines par les globules blancs est d'une démonstration difficile. Carles rapporte à ce sujet une expérience de Metchnikoff qui nous paraît très démonstrative. Ce dernier auteur, opérant sur des Poules, provoque des exsudats après injection de toxine tétanique. Les exsudats, plus riches en leucocytes que le sang, sont plus tétanigènes que lui : les leucocytes ont ainsi très vraisemblablement fixé la toxine.

Dès maintenant, on connaît donc un grand nombre de substances susceptibles d'être fixées par les globules blancs; le nombre et la diversité de ces substances permettent de croire que tous les corps solides ou liquides (solutions colloïdales comprises) introduits dans l'organisme de l'Homme ou des animaux, seront toujours phagocytés ou fixés.

Nous avons pensé que s'il s'agissait là d'un phénomène général de défense de l'organisme universellement employé contre tous les agents nuisibles ou même inutiles à l'économie, les réactifs colorés devaient, eux aussi, être fixés par les leucocytes vivants.

1. Calmette (d'après Grasset, 1911) a reconnu aussi que l'atropine injectée dans les veines d'un Lapin se localise dans les leucocytes.

2. Les noms d'auteurs qui ne sont pas mentionnés dans l'index bibliographique sont cités d'après Carles (1904) ou Morat et Doyon (1904).

Et, en effet, les colorants peuvent être fixés par des globules blancs, c'est là un phénomène bien connu des histologistes sous le nom de « colorations vitales ». Cependant la fixation des colorants par les leucocytes peut s'opérer par deux procédés différents l'un de l'autre comme nous allons l'expliquer.

FIXATION DES SUBSTANCES COLORANTES PAR LES LEUCOCYTES

On comprend l'intérêt qui s'attache à l'étude de la fixation des substances colorantes par les leucocytes puisque, sans nul doute, ces réactifs se comportent comme toutes les substances liquides étrangères introduites dans l'organisme. Mêlées au sang, elles sont naturellement éliminées comme les produits d'excrétion physiologique et, seuls, les réactifs colorés permettent de saisir quelques phases des phénomènes de fixation et surtout de rechercher la destinée des leucocytes éliminateurs¹.

Si l'on injecte une solution colorée dans la cavité générale des Invertébrés ou dans le système circulatoire des Vertébrés, les globules blancs se comportent, vis-à-vis du réactif, de deux manières différentes, suivant les groupes zoologiques étudiés.

1° Par exception, chez les Oligochètes (Cuénot, 1898), Echinodermes (Cuénot, 1901), Tuniciers et Sipunculiens (Cuénot)², le réactif coloré est excrété directement, semble-t-il, par des globules fonctionnant comme néphrocytes.

Le colorant est soutiré du milieu où il se trouve par un mécanisme glandulaire relativement lent analogue à celui employé par les cellules des reins ouverts. Ces globules (pl. 1, fig. 1) présentent alors le colorant fixé soit dans des vacuoles, soit sur des boules ou des grains de sécrétion; ils le gardent dans leur intérieur pendant un temps plus ou moins long.

Dans ces groupes, ou bien tous les amibocytes (Echinodermes) ou certaines formes seulement (Oligochètes, Tuniciers, Sipunculiens), fonctionnent comme néphrocytes³ ou mieux comme

1. Pour étudier le mécanisme de la phagocytose et rechercher les éléments phagocytaires, les auteurs ont employé les mêmes méthodes d'investigation. En effet, ils injectent aux animaux mis en expérience, des poudres colorées (encre de Chine, carmin, vermillon, etc.) dont le sort peut être facilement suivi.

2. Communication verbale.

3. En effet, Cuénot rapporte que, chez les Oligochètes, ce sont « les amibocytes à granulations et ceux-là seulement qui se colorent très vivement à la suite d'injections coelomiques ».

Jusqu'alors, chez les Tuniciers et Sipunculiens l'excrétion des réactifs colorés par des

néphrophagocytes car, sans nul doute, ces éléments amiboïdes sont capables, non seulement d'excréter les liquides mais probablement aussi de phagocyter les particules solides injectées¹.

2° Si l'on injecte des solutions colorées à des animaux appartenant à des groupes zoologiques autres que ceux cités ci-dessus, on constate que certains leucocytes fixent encore les colorants mais par un procédé autre que celui employé par les cellules des reins ouverts, les néphrocytes et les néphrophagocytes.

En effet, il ne s'agit plus alors d'un phénomène de sécrétion plus ou moins lent. Le réactif ne se retrouve plus concentré sur des boules ou des grains de sécrétion, mais au contraire il est simplement et très rapidement fixé par toute la surface du corps cellulaire. Ce sont ces phénomènes de fixation expérimentale des substances colorées que nous allons étudier comme type de phénomène d'élimination normale.

Historique. — Quelques auteurs ont déjà signalé la faculté que possèdent les leucocytes vivants de fixer certaines matières colorantes. Ils interprètent rarement les faits et se bornent, le plus souvent, à signaler qu'il s'agit là de colorations vitales banales.

Ainsi, Certes (1881) a remarqué que les cellules lymphatiques de la Grenouille pouvaient se colorer dans une solution faible de cyanine.

Kowalevsky (1888) a vu aussi le bleu de méthylène colorer les globules blancs de la Grenouille.

Harmer (1891) et Calvet (1900) observent des leucocytes de

leucocytes n'est pas connue. Nous en faisons mention parce que M. Cuénot a bien voulu nous faire part de ses recherches inédites sur ce sujet; nous lui en exprimons toute notre reconnaissance.

Chez les Tuniciers, le carmin ammoniacal n'est éliminé que par certaines formes de globules, des amibocytes hyalins possédant un petit noyau et un cytoplasme pourvu d'une grosse vacuole dans laquelle se concentre le colorant injecté.

Chez les Sipunculien, le même réactif est excrété seulement par des cellules amiboïdes spéciales qu'on trouve en abondance dans l'épaisseur de l'intestin. Après l'élimination de ce réactif, le corps cellulaire renferme des granulations (naturellement jaunes) toutes colorées en rose.

Chez les Echinodermes et les Tuniciers, Cuénot a constaté que les globules éliminant le carmin ammoniacal peuvent aussi phagocyter des particules d'encre de Chine. Chez les Oligochètes et les Sipunculien, le pouvoir phagocytaire des globules qui prennent le carmin ammoniacal n'a pas encore été constaté.

1. A côté des *néphrocytes* et des *néphrophagocytes fixes* représentés soit par des cellules conjonctives éparses ou réunies en organes, soit par des cellules endothéliales, il existe donc, dans les groupes étudiés par Cuénot, des *néphrophagocytes mobiles* représentés par des amibocytes.

Polyzoaires marins ayant séjourné dans des solutions de carmin d'indigo, de brun de Bismarck et constatent qu'ils se chargent de ces colorants ¹.

De Bruyne (1896) a remarqué que les globules sanguins se colorent chez des Lamellibranches vivant dans des solutions très étendues de bleu de méthylène.

Carles (1904), après avoir injecté du bleu de méthylène dans le péritoine d'une Grenouille et dans le tissu cellulaire d'un Lapin, a constaté que « les leucocytes absorbent le colorant ».

Enfin, Courmont et Montagard (1902) ont proposé d'utiliser la coloration vitale des globules blancs pour faciliter les examens du sang et aider à la numération de ces éléments.

Technique. — Nos recherches ont porté sur l'Homme et sur quelques animaux choisis dans divers groupes de la série :

Mollusques [Escargot (*Helix pomatia*), Limace (*Limax agrestis*)],

Crustacés (Écrevisse),

Insectes (Grillon champêtre),

Arachnides (Tégénaire),

Batraciens [Grenouille rousse (*Rana temporaria*)],

Mammifères (Lapin).

Sauf chez l'Homme, nous avons expérimenté, *in vivo*, en injectant des réactifs colorés, soit dans la cavité générale, soit dans le système circulatoire (Grenouille, Lapin). Au bout d'un temps plus au moins long, variant d'une minute à quelques heures, nous examinons une goutte de sang placée sur de l'huile de vaseline entre une lame et une lamelle.

Chez tous les animaux cités et chez l'Homme, nous avons expérimenté, *in vitro*, en plaçant directement sur une goutte d'huile de vaseline, d'abord une trace du liquide coloré puis une goutte de sang. Les essais étaient effectués, suivant les cas, à la température ordinaire ou à celle de 38° environ, obtenue à l'aide d'une platine chauffante, lorsque nos recherches portaient sur le sang des Mammifères.

Comme liquide coloré, nous avons fait choix presque exclu-

1. Cependant, d'après les dessins donnés par Calvet, il semble que les globules aient excrété la vésuvine. Il faudrait alors rapprocher ce cas de ceux décrits par Cuénot.

sivement de deux réactifs : le carmin ammoniacal privé de toute trace d'ammoniaque en excès et la solution aqueuse de bleu de méthylène au millième. Ces colorants présentent une série d'avantages qui nous les ont fait choisir de préférence à d'autres. Au titre auquel nous les avons employés, ils ne sont toxiques ni pour les globules, ni pour les animaux en expérience. Ils possèdent un pouvoir colorant intense de telle sorte qu'il suffit d'en injecter de petites quantités pour retrouver colorés les éléments qui fixent ces réactifs. Le fait est de la plus haute importance car, en injectant de petites quantités de réactif, on ne trouble pas l'équilibre des liquides de l'organisme et on modifie peu ou point l'état physiologique de l'animal sur lequel on fait des essais.

De plus, le carmin ammoniacal et le bleu de méthylène sont des colorants nucléaires. Comme le rapportent Fischel (1904), Galeotti (1894), de Beauchamp (1909), etc., et comme nous-mêmes l'avons toujours constaté, ces réactifs ne colorent que les noyaux des cellules mortes (des cellules fixées par exemple). Les colorants que nous avons utilisés permettent donc de reconnaître l'état de vie ou de mort de la cellule dont le cytoplasme ou certains corps inclus ont fixé le colorant. Quelles que soient les parties colorées de la cellule, si le noyau est demeuré incolore, nous avons l'assurance d'être en présence d'un phénomène physiologique.

Les réactifs choisis ne possèdent point d'affinité spéciale pour les produits d'inclusion. Nous avons, par exemple, évité d'employer des solutions qui auraient pu colorer des inclusions de produits gras, ou des vacuoles à grains de ségrégation (Renaut, 1907), etc.

De même, il était tout indiqué, pour étudier la fixation des produits colorés par les leucocytes, de ne pas prendre, comme l'ont fait certains auteurs, la solution iodo-iodurée de Gram; l'iode, en effet, à moins de l'employer à des doses infinitésimales, tue le cytoplasme (propriété qui le fait du reste employer comme fixateur). L'acide picrique agit d'une manière analogue.

Les expériences de fixation des réactifs colorés par les leucocytes, malgré leur simplicité apparente, sont cependant assez difficiles à réussir; néanmoins, avec un peu d'habitude, on élimine facilement les causes d'erreur tenant surtout à la durée de l'expérience, à la concentration du réactif, à la quantité à injecter, à la température, à la précipitation, etc.

Résultats expérimentaux. — Chez l'Homme et tous les animaux étudiés nous avons toujours constaté la fixation des réactifs colorés par diverses formes de leucocytes¹. Quels sont ces leucocytes ?

Chez de nombreux Invertébrés, on connaît l'évolution des globules². La forme primitive est un petit lymphocyte qui, par la suite, augmente de dimension et dont le cytoplasme peut se charger de granulations ou se creuser de vacuoles pendant que le noyau s'accroît et prend souvent une forme lobée. Nous avons remarqué que ce sont les globules jeunes et les globules en voie d'évolution qui, seuls, fixent les substances colorantes (pl. I, fig. 2, 3 et 4). Le Grillon, la Tégénaire et l'Écrevisse sont les animaux qui se prêtent le mieux à la démonstration de ce phénomène.

Si l'on injecte un peu de carmin ammoniacal dans l'un des appendices de ces animaux, on constate, par des prises de sang faites successivement dans diverses parties du corps que, peu de temps après l'injection (une ou deux minutes environ), le réactif est fixé sur les jeunes globules et les globules en voie d'évolution. Le corps cellulaire est alors uniformément coloré en rose pâle. Le carmin ammoniacal est bien fixé sur le cytoplasme et non dans des vacuoles, sur des granulations ou des boules³.

Le fait est surtout facile à vérifier chez l'Écrevisse dont les nombreux globules en voie d'évolution montrent les grosses sphères du corps cellulaire demeurées incolores, tandis que les brides du cytoplasme qui les séparent sont bien colorées (fig. 4).

Le plus souvent, les noyaux demeurent invisibles ou bien se présentent sous forme d'une tache claire.

Chez l'Écrevisse, on constate très facilement, *in vitro*, le rôle fixateur des jeunes globules au début de leur évolution en pré-

1. Il existe, sans doute, des réactifs colorés qui ne sont pas fixés par les leucocytes, comme il existe certains liquides qui ne sont pas pris par les globules blancs. On sait, par exemple, que les leucocytes du Lapin présentent des propriétés chimiotactiques négatives vis-à-vis d'une solution d'acide lactique au titre auquel Massart et Bordet (1891) l'ont employée.

2. Voir le mémoire récent de Kollmann (1908).

3. D'autres colorants employés *in vitro* ne donnent pas le même résultat. Si, par exemple, on met en présence du sang d'Écrevisse avec une solution faible de rouge neutre, ce sont les granulations des globules arrivés à l'état adulte qui se colorent. Or ce fait n'est pas un phénomène physiologique, car il ne se produit pas si l'on injecte une petite quantité de réactif dans la cavité générale de l'animal.

levant le sang dans le voisinage de l'organe globuligène où ces éléments sont nombreux.

Les globules arrivés à l'état adulte sont facilement reconnaissables à leurs corps cellulaires remplis de granulations ou de grosses boules (pl. I, fig. 3 et 4). Ils demeurent toujours complètement incolores et ne fixent jamais, par conséquent, les réactifs injectés.

On remarquera que ce sont les mêmes formes de leucocytes qui fixent les colorants et se montrent activement phagocytaires.

Chez les Vertébrés, on distingue diverses sortes de leucocytes. Deux opinions partagent les auteurs au sujet des relations génétiques de ces divers éléments. Pour les uns, leur origine est à la fois dans la moelle des os (série myélogène) et dans les ganglions lymphatiques (série lymphogène); pour les autres, le lymphocyte serait l'unique forme de laquelle dériveraient les divers globules blancs; il n'existerait qu'une série lymphogène.

Quelles que soient leurs origines, on distingue les divers globules blancs par leur taille, l'aspect des noyaux, l'absence ou la présence de granulations se comportant diversement, après fixation, vis-à-vis des réactifs colorés.

Chez les Vertébrés, s'il est aisé de constater que les leucocytes fixent les colorants, il est difficile de savoir quelles sont les formes spécialement actives car on examine alors des globules vivants dont les noyaux sont souvent invisibles et dont les corps cellulaires ou les produits inclus ne laissent pas soupçonner la réaction.

En multipliant les expériences, nous avons pu cependant reconnaître que les globules fixant les colorants sont, chez la Grenouille, de gros mononucléaires (fig. 5) et, chez le Lapin, des polynucléaires (fig. 6).

Dans des régions naturellement enflammées, à la base de l'oreille œdématisée d'un Lapin atteint d'érysipèle, nous avons constaté l'existence de nombreux polynucléaires neutrophiles qui, *in vitro*, se chargent de carmin ammoniacal. Chez le même animal, dans une région artificiellement enflammée par une plaie intéressant le tissu cellulaire dans laquelle nous avons disposé de petites boulettes de coton hydrophile imbibées de carmin ammoniacal, nous avons encore pu reconnaître que c'étaient les polynucléaires neutrophiles si abondants dans cette région, qui se chargeaient du liquide coloré.

Indépendamment de ces formes de globules, d'autres sont peut-être également susceptibles de fixer les substances étrangères à l'organisme, mais nous n'avons pas pu le reconnaître.

Mécanisme de la fixation des réactifs colorés. — Comment les colorants et, en général, tous les liquides sont-ils fixés par les globules? Autrement dit, quel rapport existe entre le colorant et le cytoplasme?

Tout d'abord, il ne s'agit pas de phénomènes directs d'excrétion analogues à ceux étudiés par Cuénot chez les Échinodermes, Tuniciers, Oligochètes et Sipunculien, et dont nous n'avons parlé plus haut que pour les opposer aux cas que nous allons étudier.

En effet, comme nous l'avons déjà dit, le réactif coloré se trouve ici réparti sur toute la surface du corps cellulaire et non localisé dans des vacuoles ou sur des boules ou grains de sécrétion. Le liquide colorant ne se fixe pas non plus sur le cytoplasme par combinaison chimique¹ comme dans certains cas de teinture; au contraire, il est fixé mécaniquement comme si le corps cellulaire en était imbibé et il n'est retenu que d'une manière peu énergique. On peut facilement démontrer ce fait en plongeant brusquement les globules vivants colorés, soit dans l'alcool absolu, soit dans le sublimé chaud. Les globules meurent alors instantanément et le colorant qui imprégnait uniformément le cytoplasme le quitte au moment de sa mort pour aller se concentrer sur le noyau et le teindre énergiquement².

Carles signale de même, au sujet de la fixation de l'argent colloïdal par les globules blancs de la Grenouille, qu'il n'a pas pu conserver ces éléments car « sitôt les leucocytes morts, le collargol absorbé diffuse et se dissout dans les réactifs employés ».

Quelques expériences bien connues pourraient cependant laisser croire qu'il se forme une combinaison entre le produit fixé et les substances albuminoïdes du cytoplasme. Labbé et Lortat-Jacob, (1902) ont montré que les globules blancs du Lapin et du Cobaye

1. Carles pense que les leucocytes absorbent le bleu de méthylène parce qu'il est un colorant basique qui « se fixe sur les éléments acides tels que les leucocytes riches en acide nucléinique ».

2. Au contraire, lorsque le carmin ammoniacal, par exemple, a été excrété par des cellules rénales ou hépatiques, par des néphrocytes, ou des néphrophagocytes, au moment de la fixation, le colorant ne quitte plus les boules ou les grains de sécrétion.

absorbaient l'iode ; après avoir exposé les globules à l'action des vapeurs d'acide acétique, ils ont obtenu au moyen de l'empois d'amidon, une coloration bleue très nette de ces éléments. On pourrait penser que l'acide acétique ajouté a eu pour but de remettre en liberté l'iode combiné au cytoplasme, mais l'action de cet acide n'est pas indispensable pour obtenir la réaction et en employant du sublimé, les auteurs ont vu très nettement se former sur les leucocytes un précipité rouge d'iodure mercurique.

Carles a mis en évidence la fixation des sels de fer par les globules en acidifiant, par l'acide tartrique, le ferrocyanure de potassium employé comme réactif ; l'addition de l'acide tartrique a pour but ici, non pas de détruire une combinaison organo-métallique, mais de modifier la réaction du milieu afin que la formation du bleu de Prusse puisse s'effectuer.

Nous avons cherché à savoir si les globules exerçaient une action modificatrice sur la matière colorante fixée. Dans ce but, nous avons essayé des liquides dont la couleur varie suivant la réaction acide ou alcaline, réductrice ou oxydante du milieu. Nous avons expérimenté successivement, *in vitro* et *in vivo*, avec une solution aqueuse de tournesol, de vert d'iode, de bleu coton, d'hélianthine, de carmin d'indigo. Pour des motifs divers (manque de solubilité, précipitation dans le plasma, mort des globules ou des animaux, etc.), nous n'avons pas obtenu de résultats, mais il est fort probable que l'action faiblement réductrice du cytoplasme doit s'exercer vis-à-vis des colorants fixés.

Les leucocytes semblent fixer tels quels les réactifs colorés. Le réactif s'attache au corps cellulaire comme il se présente ; le colorant ne se concentre pas sur le cytoplasme en le teignant d'autant plus que le contact se prolonge davantage, les globules sont alors seulement d'autant plus colorés que la concentration de la solution est plus grande.

Les globules ayant phagocyté des particules solides peuvent encore fixer les liquides colorés.

Enfin la fixation des colorants par les leucocytes est très rapide, chez les Vertébrés, elle semble même presque instantanée.

Signification physiologique de la coloration vitale des leucocytes. — Certaines formes de leucocytes vivants fixent les colo-

rants injectés comme ils fixent, ainsi que nous l'avons vu plus haut, un grand nombre de corps solides ou liquides introduits dans l'organisme. Cette fixation, mise en évidence par l'examen direct (solutions colorées), et par des analyses chimiques (mercure, arsenic, etc.) et des réactions microchimiques (sels de fer, acide salicylique, etc.) ou physiologiques (alcaloïdes, toxines, etc.), constitue donc bien, comme nous l'avons déjà fait connaître (1911), un phénomène physiologique de défense que nous considérons comme le premier acte des phénomènes d'élimination. Nous nous rallions ainsi complètement à l'opinion de Besredka (1899) lorsqu'il dit « qu'il existe à l'égard d'un produit toxique soluble, une phagocytose ayant exactement le même caractère que pour les microbes ou poisons insolubles ». Et nous comprenons que Morat et Doyon (1904), dans leur *Traité de Physiologie*, étendent aux substances dissoutes l'action phagocytaire des leucocytes.

De Beauchamp (1909) a proposé d'expliquer les colorations vitales par les propriétés électriques des solutions colloïdales. Il y aurait, comme dans certains cas de teinture, coloration par précipitation sur le cytoplasme, corps colloïde chargé d'un certain signe électrique, du colorant possédant une charge électrique de signe contraire. Le mécanisme de la fixation par les leucocytes des liquides colorés que nous avons employés (sans aucun doute des solutions colloïdales) peut ainsi s'expliquer par l'hypothèse de de Beauchamp. Elle nous rend compte de la manière dont peut s'accomplir la fixation en donnant à un processus vital une explication physique qui frappe l'esprit.

On remarquera qu'il existe une certaine analogie entre la fixation des liquides telle que nous venons de la décrire et la première phase des phénomènes de phagocytose.

En effet, d'après Levaditi et Mutermilch (1910), le mécanisme de la phagocytose comprend deux temps. Le premier consiste dans l'attachement de l'objet phagocytable sur le leucocyte, le second correspond à l'englobement proprement dit et, quand elle est possible, à la destruction du corps phagocyté.

L'accolement des corps figurés aux leucocytes est un phénomène d'ordre physico-chimique, car il peut même, d'après les auteurs cités, se produire après la mort des leucocytes. Or, cet accolement des corps phagocytés aux leucocytes nous semble

bien comparable à ce que nous appelons la fixation mécanique des liquides colorés par ces éléments ¹.

2° Phase de transport

La destinée des globules ayant fixé les réactifs colorés peut être suivie par des numérations de ces éléments et, grâce à la coloration qu'ils présentent, il est possible de les retrouver dans les divers endroits du corps où ils se rendent.

Phénomènes d'hypoleucocytose et d'hyperleucocytose. — Aussitôt après une injection de carmin ammoniacal, on constate que le nombre des globules blancs circulant dans le sang périphérique diminue rapidement et progressivement pendant un certain temps, *c'est le premier stade d'hypoleucocytose*. Après avoir atteint un nombre minimum, le chiffre des leucocytes augmente insensiblement et dépasse ensuite le nombre primitif, c'est le *second stade d'hyperleucocytose*.

A titre d'indication, nous choisissons dans notre cahier de laboratoire deux expériences faites l'une chez un Vertébré (Lapin), l'autre chez un Invertébré (Écrevisse). Les chiffres donnés par ces expériences indiquent la durée des phénomènes d'hypo et d'hyperleucocytose et montrent entre quelles limites oscille le nombre des globules ².

Première expérience. — Un Lapin âgé de trois mois reçoit, dans la veine marginale de l'oreille, une injection de 2 centimètres cubes d'une solution de carmin ammoniacal. Les chiffres donnés

1. Il se pourrait même que l'analogie entre les phénomènes de fixation des substances liquides par les leucocytes et les phénomènes de phagocytose soit plus grande encore.

On sait que le tissu conjonctif des Mammifères renferme des néphrophagocytes (Spillmann et Bruntz, 1909). Ce sont les cellules connectives fixes de Renaut (1907) qui dérivent, d'après cet auteur, de lymphocytes s'organisant en cellules du tissu conjonctif. Les globules blancs, après avoir fixé du carmin d'ammoniaque par exemple (première phase de fixation) sont peut-être susceptibles de se transformer en cellules conjonctives fixes. Dans ces cellules, le carmin ammoniacal primitivement fixé par les globules blancs se retrouve, comme nous l'avons montré, sur des boules, ou des grains intracytoplasmiques, qui, de ce fait, sont colorés en rose (ce serait la seconde phase d'englobement).

2. On sait que, chez le Lapin, le nombre des leucocytes varie quelquefois dans une certaine mesure sans qu'on puisse invoquer aucune raison. Nous ferons remarquer que les chiffres obtenus dans nos expériences présentent des écarts si considérables qu'on ne peut les attribuer à des causes fortuites.

par les numérations successives des leucocytes furent les suivants :

18 avril (avant l'injection)	6,800
18 avril (10 minutes après)	6,000
18 avril (une demi-heure après)	3,600
	(HYPOLEUCOCYTOSE)
18 avril (une heure et demie après)	4,800
19 avril (24 heures après)	23,600
	(HYPERLEUCOCYTOSE)
20 avril	21,500
22 avril	19,200
24 avril	6,500

Le chiffre des leucocytes s'est donc abaissé de 3,200 éléments en une demi-heure. A ce phénomène d'hypoleucocytose a succédé de l'hyperleucocytose tellement accentuée que le lendemain de l'injection, le chiffre des globules blancs avait presque quadruplé. Le septième jour seulement le nombre des leucocytes était redevenu normal.

Deuxième expérience. — Une Écrevisse reçoit dans la cavité générale une injection de quelques gouttes d'une solution de carmin ammoniacal. La numération des leucocytes¹ nous donne les résultats suivants :

20 avril (avant l'injection)	21,4
20 avril (une heure après)	1,3
	(HYPOLEUCOCYTOSE)
20 avril (quatre heures après)	7,8
20 avril (six heures après)	14,8
20 avril (sept heures après)	20,7
21 avril (24 heures après)	22,2
21 avril (30 heures après)	23,5
22 avril	56,2
	(HYPERLEUCOCYTOSE)
23 avril	31,1
25 avril	23,4

1. La numération des leucocytes chez l'Écrevisse est une opération délicate. Pour l'effectuer nous avons employé un procédé analogue à celui qu'on utilise pour la numération des diverses espèces de globules blancs chez l'Homme, mais la prise de sang est faite avec la pipette qui servira à porter le sang sur la lame de l'hématimètre. Il faut alors se servir d'une pipette effilée, de façon à diminuer autant que possible l'importance du traumatisme et, par là même, l'abondance de la perte de sang. Nous avons eu soin, avant d'opérer, de déposer sur l'hématimètre une goutte de sérum artificiel sur laquelle, avec la pipette, on fait tomber la goutte de sang. On passe en revue un certain nombre de champs microscopiques différents et on fait la moyenne des nombres obtenus. Ce procédé ne donne pas le nombre réel de leucocytes, il permet seulement d'obtenir des chiffres servant à comparer les différentes prises de sang au point de vue de leur teneur leucocytaire.

Ces chiffres concordent avec ceux de l'expérience précédente. Le nombre des leucocytes s'est abaissé de 21,1 éléments (sur 22,4) en l'espace d'une heure. A ce phénomène d'hypoleucocytose a succédé de l'hyperleucocytose, le chiffre des globules blancs s'étant élevé de 34 éléments (chiffre initial 22,4) en deux jours. Le sixième jour seulement le sang était redevenu normal.

Destinée des globules éliminateurs. Signification physiologique de l'hypoleucocytose. — Après avoir fixé les colorants, les leucocytes vont s'accumuler dans divers organes, comme nous l'avons reconnu chez des Crustacés décapodes (*Astacus* et *Palemonetes*), chez la Grenouille et le Lapin.

Chez les Crustacés, les globules se rendent dans les branchies; chez la Grenouille et le Lapin, ils vont en quantités plus ou moins grandes dans divers organes thoraciques ou abdominaux.

Chez l'Écrevisse, on peut facilement constater l'accumulation des leucocytes dans les branchies en détachant ces organes quelques minutes après l'injection de carmin ammoniacal. On trouve au microscope de nombreux globules roses emprisonnés dans les filaments branchiaux. Là, ils sont entassés dans les interstices laissés par les néphrocytes localisés en cet endroit (pl. I, fig. 8).

Chez les *Palemonetes*, nous avons retrouvé les globules par un autre procédé. Une ou plusieurs minutes après une injection de carmin ammoniacal, ces Crustacés, qui sont de petite taille, étaient fixés entiers dans une solution aqueuse saturée de sublimé bouillant¹. Ils étaient ensuite traités par les procédés habituels de la technique histologique et débités en coupes transversales sériées. Sur ces coupes, nous avons encore constaté une accumulation marquée des globules dans les branchies.

Chez la Grenouille et le Lapin, en sacrifiant les animaux de une à dix minutes après l'injection et en examinant le sang des divers organes, on retrouve de nombreux globules rosés dans le foie (fig. 9) et moins abondants dans la rate, les poumons et les reins².

1. C'est M. Cuénot qui, sur nos indications, a bien voulu effectuer ces expériences pendant qu'il séjournait au bord de la mer. Nous lui adressons nos vifs remerciements.

2. Notre mémoire était rédigé quand nous avons pu prendre connaissance d'un récent travail de Feuillie (1939). Cet auteur a reconnu qu'après des injections sous-cutanées d'une solution de ferrocyanure de potassium à des Cobayes et à des Chiens, « il est possible de trouver dans le rein, des leucocytes surchargés de ce produit. » Pour Feuillie, les leucocytes « charrient » le ferrocyanure vers les tubuli, ils joueraient « un rôle dans l'élimination urinaire ».

Or, il est un fait digne de remarque, c'est que dans les capillaires hépatiques où les globules colorés s'accumulent en plus grand nombre, les cellules endothéliales fonctionnent activement comme néphrophagocytes.

Les globules chargés de matière colorante, se ramassent donc chez les Invertébrés dans le voisinage des néphrocytes (et, probablement, des néphrophagocytes lorsque ceux-ci existent); chez les Vertébrés, ils se rassemblent, indépendamment des reins, dans les régions où les néphrophagocytes sont particulièrement abondants ¹.

C'est pendant que les globules blancs se rendent ainsi dans diverses régions localisées du corps que l'on remarque l'hypoleucocytose signalée plus haut ².

3° Phase d'excrétion

Nous venons de constater que les globules blancs jouent le rôle de transporteurs. Quelle est la destinée de ces éléments rapidement conduits vers les organes d'excrétion (reins ouverts et cellules closes)?

Nous possédons peu de renseignements sur cette question que nous nous proposons seulement de mettre à l'étude. Cependant, l'observation démontre que les produits d'élimination passent par un mécanisme glandulaire dans les cellules excrétrices; les globules abandonnent donc les substances étrangères à l'organisme qu'ils ont fixées, mais nous ignorons par quel processus ³.

Nous pouvons cependant rapprocher ce phénomène de reprise, par les cellules rénales, des substances liquides fixées sur les leucocytes, de ce que nous savons au sujet de la phagocytose.

1. Chez les Mammifères diverses cellules fonctionnent comme néphrophagocytes (Spillmann et Bruntz, 1909). Ce sont : 1° de nombreuses cellules réparties dans le tissu conjonctif de la plupart des organes et 2° les cellules endothéliales des capillaires sanguins du foie, de la rate, de la moelle osseuse, des sinus des ganglions lymphatiques et des vaisseaux de la pulpe splénique.

2. Après injection de peptone, Delezenne (1898) a constaté une hypoleucocytose qu'il attribue, dans ce cas particulier, à l'action destructive du produit injecté exercée sur les globules blancs.

3. Si les organes d'excrétion clos et ouverts peuvent ainsi reprendre aux leucocytes éliminateurs les produits qu'ils ont fixés, nous ne disons pas cependant que les substances liquides ne peuvent pas être, dans aucun cas, excrétées directement par les cellules rénales, hépatiques, ou par les néphrophagocytes. Mais on comprend qu'il sera assez difficile de résoudre ce problème de physiologie, puisque normalement les leucocytes fixateurs se rendent toujours aux organes excréteurs.

Wérigo (1892) et d'autres auteurs ont reconnu que les leucocytes ayant capturé des substances inertes (grains de carmin) les transportent dans le foie et dans la rate. Wérigo conclut que les leucocytes accolés aux cellules endothéliales des vaisseaux du foie s'y déchargent de leur carmin, grâce aux mouvements moléculaires de leur protoplasma. Débarrassés de leur contenu, ils sont ensuite emportés, par le courant sanguin, dans les veines centrales. Au fur et à mesure que les leucocytes sont ainsi libérés, d'autres sont englobés à leur tour jusqu'à ce que tout le carmin soit transmis aux cellules endothéliales.

Signification physiologique de l'hyperleucocytose. — Après avoir abandonné les substances fixées, les globules rentrent en effet dans la circulation générale; c'est à ce moment qu'on constate le stade d'hyperleucocytose. Mais cette hyperleucocytose n'est pas due seulement à la réapparition des anciens globules, elle résulte aussi de l'arrivée dans la circulation générale d'éléments néoformés. Nous avons constaté le fait chez l'Écrevisse en cherchant si, trois jours après une injection de carmin ammoniacal, l'organe globuligène présentait des mitoses plus nombreuses qu'à l'état normal. Sans avoir établi de pourcentage, nous pouvons affirmer que les divisions sont en nombre plus grand pendant le stade d'hyperleucocytose qu'à l'état normal¹.

Chez le Lapin, Achard et Weil (1907) ont constaté, de même, qu'après une injection de collargol, la moelle osseuse et la rate pendant l'hyperleucocytose consécutive présentaient des signes de prolifération active.

D'après Cuénot, il y a également hyperfonctionnement de l'organe globuligène de l'Écrevisse après injection de particules solides.

On observe donc les mêmes phénomènes, qu'il s'agisse de l'élimination des substances solides ou des substances liquides. Dans les deux cas, l'activité des organes lymphopoiétiques est mise en jeu, probablement par action réflexe, au moment où l'or-

1. Après l'injection de certaines substances comme l'électrargol par exemple, le stade d'hyperleucocytose apparaît si rapidement qu'il semble que les organes lymphopoiétiques doivent toujours tenir en réserve un certain nombre de jeunes globules. Lorsque besoin est, ces globules tombent dans le torrent circulatoire; dans ce cas, les mitoses qu'on retrouve dans les organes globuligènes auraient alors pour but d'engendrer une nouvelle réserve de leucocytes.

ganisme se trouve mis brusquement en présence d'une certaine quantité d'un corps nuisible ou inutile à faire disparaître. L'hyperleucocytose représente bien ainsi un phénomène de défense de l'organisme contre les substances étrangères.

Mais si les produits liquides à éliminer sont rejetés au dehors par les reins ouverts, que deviennent les mêmes produits retenus au sein des néphrocytes ou des néphrophagocytes? C'est encore une question que nous n'aborderons pas ici, car, dans ce travail, nous n'étudions que la fixation des corps inutiles ou nuisibles par les leucocytes et la destinée de ces éléments transporteurs. Nous mentionnerons seulement que nous croyons avec Cuénot (1895) et Voinov (1898) que les néphrocytes et les néphrophagocytes, après avoir accumulé les produits d'excrétion pendant un temps plus ou moins long, les déversent lentement et périodiquement dans le sang d'où ils sont ensuite repris par les reins ouverts.

CONCLUSIONS

En résumé, chez les Invertébrés ainsi que chez les Vertébrés, l'élimination des réactifs colorés semble se faire comme celle de toutes les substances liquides (ou se présentant à l'état colloïdal) étrangères à l'organisme. Elle s'effectue, comme celle des produits normaux d'excrétion, en trois phases. Pendant la première (PHASE DE FIXATION), certaines formes de leucocytes fixent mécaniquement les produits à éliminer. Chez un individu normal, les leucocytes, au nombre moyen de 7.000 par millimètre cube (présentant une surface de fixation considérable) peuvent donc contribuer puissamment à l'élimination des produits d'excrétion physiologique. Pendant la deuxième phase (PHASE DE TRANSPORT), les leucocytes conduisent les produits fixés à des organes excréteurs ouverts (reins et foie) ou clos (néphrophagocytes). Pendant la troisième phase (PHASE D'EXCRÉTION), les globules cèdent aux organes excréteurs, les produits fixés. Par un processus glandulaire, les cellules des reins ouverts les rejettent directement au dehors, les cellules closes les concentrent dans leur cytoplasme.

Les néphrocytes ou les néphrophagocytes accaparent les produits à éliminer, ils les gardent d'abord plus ou moins longtemps pour les rendre ensuite aux organes d'excrétion ouverts qui les

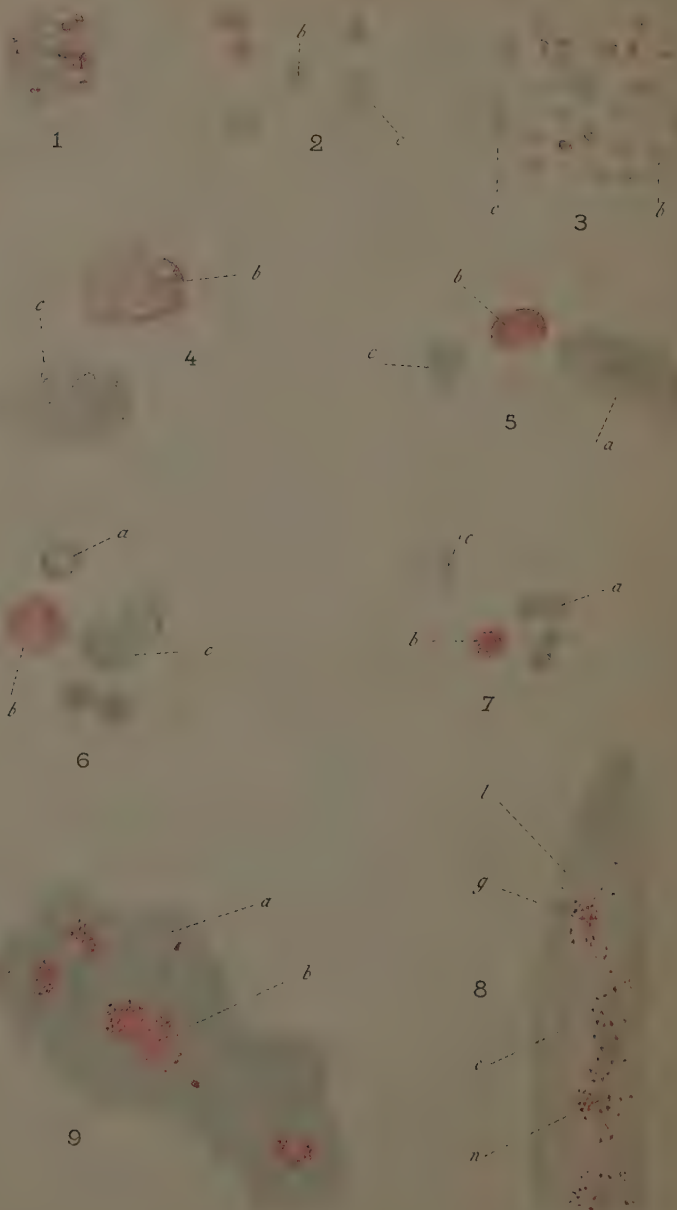
éliminent au fur et à mesure que ces produits sont remis en circulation.

Si, accidentellement, l'organisme est mis en présence d'une quantité anormale de produits à éliminer, ces derniers sont rapidement fixés par les globules qui les transportent aux organes d'excrétion, on constate alors de l'*hypoleucocytose*. Pour faire face aux besoins extraordinaires de l'organisme à ce moment, de nouveaux globules chargés de contribuer à l'élimination des substances étrangères sont mis en circulation, ce phénomène se traduit par de l'*hyperleucocytose*.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1907. ACHARD (C.) et WEIL (P.). — Le sang et les organes hématopoiétiques du Lapin après injection intra-veineuse de collargol (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LXII, p. 93).
1900. ARNOZAN (X.) et MONTEL. — Rôle des leucocytes dans l'absorption des médicaments (*XIII^e Congrès international de médecine*, Paris, 1900, t. VI, p. 181).
1909. BEAUCHAMP (P. DE). — Les colorations vitales (*L'Année biologique*, 11^e année, 1906, p. 16).
1899. BESREDA. — Du rôle des leucocytes dans l'intoxication par un composé arsenical soluble (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. XIII, p. 209).
1901. BOUCHARD (C.). — *Traité de pathologie générale*, t. I. Paris.
1911. BRUNTZ (L.) et SPILLMANN (L.). — La coloration vitale des leucocytes doit avoir une signification physiologique (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CLII, p. 51).
1896. BRUYNE (C. DE). — Contribution à l'étude de la phagocytose (*Archives de biologie*, t. XIV, p. 161).
1900. CALVET (L.). — Contribution à l'histoire naturelle des Bryozoaires ectoproctes marins (*Thèse de sciences*, Montpellier).
1904. CARLES (J.). — Du rôle des leucocytes dans l'absorption et l'élimination des substances étrangères à l'organisme, Paris.
1881. CERTES (A.). — Note sur un procédé de coloration des organismes microscopiques vivants (*Mémoires de la Société de Zoologie*, t. VI, p. 21).
1902. COURMONT (J.) et MONTAGARD (V.). — Les leucocytes. Monographie clinique (*L'Œuvre médico-chirurgicale*, Paris).
1896. CUÉNOT (L.). — Études physiologiques sur les Orthoptères (*Archives de Biologie*, t. XIV, p. 293).
1898. CUÉNOT (L.). — Études physiologiques sur les Oligochètes (*Archives de Biologie*, t. XV, p. 79).
1901. CUÉNOT (L.). — Études physiologiques sur les Astéries (*Archives de Zoologie expérimentale*, t. IX, p. 233).
1898. DELEZENNE (C.). — Action leucolytique des agents anticoagulants du groupe de la peptone (*Archives de Physiologie*, t. X, p. 508).
1909. FEUILLÉ (E.). — Leucopathies, métastases, albuminuries et ictères leucopathiques (*Thèse de médecine*, Paris).
1901. FISCHEL (A.). — Untersuchungen über vitale Färbung (*Anatomische Hefte*, t. XVI, p. 415).
1891. GABRITSCHESKY. — Mikroskopische Untersuchung über glycogene Reaction im Blut (*Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*, t. XXVIII, p. 272).

1894. GALEOTTI (G.). — Ricerche sulla colorabilita delle cellule vivanti (*Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie*, t. II, p. 172).
1892. HARMER (F.). — On the nature of Excretory Processes in Marine Polyzoa (*Quarterly Journal of microscopical Science*, t. XXXIII, p. 123).
1908. KOLLMANN (M.). — Recherches sur les leucocytes et le tissu lymphoïde des Invertébrés (*Thèse de Sciences*, Paris).
1902. LABBÉ (M.) et LORTAT-JACOB (L.). — Rôle des leucocytes dans l'absorption de l'iode et des composés iodés (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LIV, p. 830).
1902. LANCELIN (L.). — Morphinisme et infections. Rôle des leucocytes (*Thèse de Médecine*, Bordeaux).
1910. LEVADITI (C.) et MUTERMILCH (St.). — Mécanisme de la phagocytose (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LXVIII, p. 1079).
1901. LOMBARD (J.). — Contribution à l'étude physiologique des leucocytes (*Thèse de Médecine*, Paris).
1891. MASSART (J.) et BORDET (Ch.). — Le chimiotaxisme des leucocytes (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. V, p. 417).
1894. METCHNIKOFF (E.). — L'état actuel de la question de l'immunité (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. VIII, p. 706).
1904. MORAT (J. P.) et DOYON (M.). — Traité de physiologie. Fonctions élémentaires. Paris.
1907. RENAUT (J.). — Les cellules connectives rhagiocrines du tissu conjonctif (*Archives d'anatomie microscopique*, t. IX, p. 495).
1909. SPILLMANN (L.) et BRUNTZ (L.). — Les néphrophagocytes des Mammifères (*Comptes rendus de l'Association des Anatomistes*, 11^e réunion, Nancy, p. 14).
1911. SPILLMANN (L.) et BRUNTZ (L.). — Sur le rôle éliminateur des leucocytes (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CLII, p. 154).
1898. STASSANO (H.). — L'absorption du mercure par les leucocytes (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CXXVII, p. 680).
1902. STASSANO (H.) et BILLON (F.). — Sur la diapédèse des leucocytes chargés de lécithine et sur l'absorption de la lécithine par l'endothélium vasculaire (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXIV, p. 430).
1898. VOINOV (N.). — Recherches physiologiques sur l'appareil digestif et le tissu adipeux des larves des Odonates (*Bulletin de la Société des Sciences de Bucarest*, t. VII, p. 3).
1892. WÉRIGO. — Les globules blancs comme protecteurs du sang (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. VI, p. 478).
-



EXPLICATION DE LA PLANCHE

FIG. 1. — Globule blanc du sang de l'appareil circulatoire d'un Ver de terre ayant éliminé une solution de carmin ammoniacal. Le sang a été prélevé 30 heures après l'injection du réactif coloré et le globule a été dessiné vivant. Le carmin ammoniacal excrété se retrouve fixé sur des boules intracytoplasmiques. Gr. : 1.100.

FIG. 2. — Globules du sang de Limace grise, dessinés sur le frais, une heure environ après une injection de carmin ammoniacal. Le corps cellulaire des jeunes globules et des globules en voie d'évolution a fixé le réactif; au contraire, les globules adultes sont demeurés incolores. Gr. : 540.

b, globule éliminateur; *c*, globule adulte.

FIG. 3. — Globules du sang de Grillon, dessinés sur le frais, une heure environ après une injection de carmin ammoniacal. Comme précédemment, le corps cellulaire des jeunes globules et des globules en voie d'évolution a fixé le réactif. Les globules adultes chargés de granulations sont restés incolores. Gr. : 240.

b, globule éliminateur; *c*, globule adulte.

FIG. 4. — Globules du sang d'Écrevisse à laquelle on avait injecté une solution de carmin ammoniacal. Le sang a été prélevé cinq minutes après l'injection et examiné à l'état frais. Deux globules ont été dessinés vivants pour montrer : 1° un leucocyte en voie d'évolution dont les brides de cytoplasme qui séparent les boules du corps cellulaire sont colorées en rose grâce à la fixation du réactif injecté; 2° un globule adulte qui, n'ayant pas fixé le carmin ammoniacal, est resté incolore. Gr. : 940.

b, globule éliminateur; *c*, globule adulte.

FIG. 5. — Sang frais de Grenouille, examiné quinze minutes après une injection intraveineuse d'une solution de carmin ammoniacal. Gr. : 600.

a, globule rouge; *b*, globule blanc mononucléaire ayant fixé le réactif coloré; *c*, globule blanc granuleux.

FIG. 6. — Sang de Lapin, examiné sur le frais. Le sang a été prélevé deux minutes après une injection intraveineuse de solution de carmin ammoniacal. Gr. : 1.000.

a, globule rouge; *b*, globule blanc polynucléaire ayant fixé le colorant; *c*, globule blanc à granulations.

FIG. 7. — Sang humain examiné *in vitro* à la température de 38°. Au sang avait été ajoutée une trace de solution de carmin ammoniacal. Gr. : 540.

a, globules rouges; *b*, globules blancs ayant fixé le réactif; *c*, globules blancs à granulations.

FIG. 8. — Extrémité d'un filament branchial (dessiné sur le frais) d'une Écrevisse, arraché dix minutes après avoir injecté, dans la cavité générale de

ce Crustacé, quelques gouttes d'une solution de carmin ammoniacal. Gr. : 95 environ.

Par transparence, à travers l'épithélium des branchies, on aperçoit de nombreux globules sanguins dont la majorité (jeunes globules et globules en voie d'évolution) sont colorés en rose par le réactif fixé sur le corps cellulaire; *c*, cellules épidermiques vues de face; *g*, amas de leucocytes; *l*, lacunes sanguines; *n*, néphrocytes.

FIG. 9. — Sang prélevé dans le foie d'un Lapin auquel on avait injecté dans la veine marginale d'une oreille, une solution de carmin ammoniacal. La prise du sang a été effectuée deux minutes après l'injection. Sur la préparation, les leucocytes ayant fixé le colorant se sont agglutinés et forment des plages roses au milieu des globules rouges. Gr. : 100.

a, globules rouges; *b*, globules blancs éliminateurs.

LE BOURGEON FEMELLE DES CORDAÏTES

D'APRÈS LES

PRÉPARATIONS DE BERNARD RENAULT

COMMUNICATION

de M. C.-Eg. BERTRAND

MEMBRE CORRESPONDANT DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY

INTRODUCTION

Dans une suite de notes présentées à la Société botanique de France (1) j'ai résumé les caractéristiques génériques et spécifiques des graines digones figurées dans les *Recherches sur les Graines fossiles silicifiées* d'Adolphe Brongniart (2). Ce texte avait pour but de mettre à la disposition des paléobotanistes les renseignements nécessaires pour l'utilisation de ce merveilleux album où les préparations de Bernard Renault ont été reproduites par le dessin avec un soin et une exactitude admirables. L'explication des planches donnée par Renault ne suffisait pas. Une expérience prolongée a montré qu'à moins de connaître les préparations elles-mêmes on restait toujours très hésitant. On était surpris de rencontrer des contradictions qui semblaient s'exclure. Ce premier travail est presque achevé. Il y manque seulement la caractérisation des *Cyclocarpus*. Je n'ai retrouvé jusqu'ici qu'une seule des préparations de ce genre, la moins importante probablement. Elle ne permet pas de contrôler les caractéristiques que Brongniart a données pour définir les *Cyclocarpus*. Il a existé certai-

(1) *Bulletin de la Société botanique de France*, t. LIV et LV, 1907 et 1908.

(2) Ad. BRONGNIART, *Recherches sur les graines fossiles silicifiées*. Paris, 1881.

nement deux autres préparations qui doivent être démonstratives. Bien que j'en connaisse le signalement et les numéros, je ne les ai pas encore retrouvées. Ce premier texte sur les graines digones est un minimum. Il comportera des explications et une figuration complémentaires. J'ai fait face au plus pressé.

J'aborde une nouvelle série de publications qui pourraient s'appeler, dans leur ensemble, les *Suites à Brongniart et Renault*. Je me propose d'y présenter la description et la figuration des préparations qu'ils ont faites dans les graines et les fleurs recueillies à Grand-Croix par M. Grand'Eury; Le *Compso-testa Brongniarti* est le premier mémoire de cette seconde série de travaux⁽¹⁾. La présente étude en sera le second fascicule. C'est une exposition des faits montrés par les préparations que B. Renault avait réunies pour l'*Étude des bourgeons femelles des Cordaïtes*.

Bien que l'une des préparations porte la date : 1875, ajoutée après coup par Renault, je crois pouvoir dire que Brongniart n'a pas étudié ces préparations. Aucune d'elles ne porte d'indications de sa main. Il n'y fait allusion en aucun point aux notes qu'il a publiées sur les *Graines fossiles silicifiées*. Cette préparation de 1875 (B 193, c o) est pourtant remarquable entre toutes puisqu'elle montre un ovule fixé pendant l'acte même de la pénétration du pollen dans la chambre pollinique⁽²⁾.

Ces préparations, et ce que l'on en sait par le peu qui a été publié, sont une œuvre personnelle de B. Renault, l'honneur lui en revient tout entier. Renault a décrit sommairement quatre de ses préparations dans une note présentée à l'Académie des sciences, le 4 juin 1877. Il les a spécifiées et figurées dans son mémoire sur la *Structure comparée de quelques tiges de la Flore carbonifère*. Ces deux publications ne sont qu'une prise de date. Renault attendait des matériaux plus complets. Il eût fallu pouvoir multiplier les coupes. Renault n'a pas eu les ressources nécessaires.

Il ne s'agit donc pas ici d'une exposition du bourgeon femelle des Cordaïtes telle qu'on pourrait la présenter en faisant usage de tous les matériaux existants, mais bien de dire le plus exacte-

(1) C.-Eg. BERTRAND, Sur le genre *Compso-testa* de Ad. Brongniart, Graine fossile du terrain stéphanien (Annales du Jardin botanique de Buitenzorg, 2^e série, supplément II. Leide 1909).

(2) Les préparations de la collection Bernard Renault, conservées au Muséum de Paris, sont désignées par une indication qui rappelle la boîte et la case où elles sont rangées, B 193, c o signifie Boîte 193, case o.

ment possible ce que les préparations de Renault apportaient à la connaissance de ces bourgeons. Je signalerai les questions qu'elles soulèvent, ce qu'il y aurait à faire pour en compléter l'étude.

Je dois une profonde reconnaissance à l'affectueuse estime et à l'amitié de M. Cy. Grand'Eury qui a bien voulu nous associer, mon fils Paul et moi, à l'œuvre de Brongniart et de Renault dans cette étude des matériaux qu'il a récoltés à Grand'Croix et à Saint-Étienne.

Je suis très reconnaissant aussi à M. le professeur Henri Leconte, du Muséum de Paris, pour toutes les facilités qu'il nous donne dans ces recherches.

Je dois remercier tout particulièrement M. Paul Bertrand, qui s'est chargé d'exécuter toute la partie photographique de ce travail. Les difficultés venant des préparations étaient ici particulièrement grandes. Il a réussi à obtenir l'enregistrement photographique des documents étudiés à l'extrême limite de ce que peuvent donner aujourd'hui les moyens dont nous disposons, vu l'état de conservation des objets.

Il doit être entendu que les bourgeons que nous allons étudier sont les bourgeons sessiles à écailles petites, nombreuses, uninnervées, figurés dans la reconstitution des régimes femelles de Cordaïtes par M. Grand'Eury. Ils répondent à la figure 8, planche 15, tome I du *Cours de Botanique fossile de Renault*.

LA BIBLIOGRAPHIE DU BOURGEON FEMELLE DES CORDAÏTES

(Documents de B. Renault)

La bibliographie de notre sujet est naturellement extrêmement restreinte. Elle comporte en premier lieu la *Note sur la fleur femelle des Cordaïtes*, lue à l'Académie des sciences de Paris, le 4 juin 1877 (1). Elle fut présentée par P. Duchartre. Cette note décrit d'abord les préparations B 193, c 15 et B 193, c 5. La première est une section transverse susapicale d'un bourgeon présentant *quatre ovules développés*. La seconde est une section tangentielle passant dans l'écorce de l'axe d'un bourgeon femelle.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1877, t. LXXXIV, p. 1328.

Fortuitement la section coupe un ovule dans le voisinage du plan médian de sa bractée mère, c'est-à-dire dans le voisinage du plan que j'ai nommé GD dans l'étude des graines libres, G se trouvant du côté de la bractée. Renault voyait dans ces deux préparations *un premier type d'ovule caractérisé par la présence de deux téguments; le tégument interne étant isolé du tégument externe, dans le fond de l'ovule, par un long pédoncule*. Renault décrit ensuite *un ovule n'ayant qu'un tégument*, mais cette coupe qui ne nous est connue que par sa figuration est faite dans le plan des faisceaux tégumentaires f_a, f_p , c'est-à-dire perpendiculairement au plan GD. Renault décrit encore un ovule en pollinisation. Cet ovule est coupé longitudinalement dans son plan f_a, f_p , et par là il paraît aussi unitégumenté, mais Renault reste hésitant à son sujet. C'est à la fin de cette note que B. Renault insiste pour la première fois sur le cloisonnement qu'il croit remarquer dans l'intine des grains de pollen de Cordaïtes. La très bonne figuration de ces documents prend ainsi une importance exceptionnelle. En ce qui concerne les organes femelles la note de Renault a donc un caractère très particulier. C'est une description concise, quoique très précise, de quatre préparations. Elle soulève déjà la question du nombre des téguments. Il paraît y avoir deux téguments dans la plupart des cas, un seul dans quelques autres.

A la fin du travail qu'il présentait comme thèse de doctorat ès sciences naturelles (1) Renault a redonné, *en les accompagnant de figures*, la description de ces quatre bourgeons femelles :

Le *Cordaïanthus Williamsoni* représenté figure 11, planche 17, pour l'ensemble de la section tangentielle et figure 12, planche 17, pour l'ovule gauche grossi (p. 312 et 313). *Préparation B 193, c 5* (voir fig. 19 et 20, pl. 3);

Le *Cordaïanthus Grand'Euryi*, représenté figure 14, planche 17, pour l'ensemble de l'ovule en pollinisation, et figure 15, planche 17, pour les grains de pollen traversant le tube ou bec nucellaire (p. 314). *Préparation B 193, c 0* (voir fig. 17 et 18, pl. 2);

Le *Cordaïanthus Zeilleri*, représenté figure 13, planche 17, pour l'ensemble de la section transverse susapicale. Il y mentionne seu-

(1) B. RENAULT, *Structure comparée de quelques tiges de la Flore carbonifère*. Thèse de doctorat ès sciences naturelles. Paris, 25 juillet 1879, dans *Nouvelles Archives du Muséum*.

lement quatre ovules développés mais la figure laisse soupçonner au moins un ovule atrophié. Renault indique deux téguments dans l'ovule du *Cordaïanthus Williamsoni*. Il admet que si le tégument interne n'est pas visible dans les ovules du *C. Zeilleri*, c'est ou bien que ce tégument interne plus tardif n'est pas encore développé, ou bien qu'il a été hâtivement détruit (p. 316, voir fig. 1 et 2, pl. 1);

Le *Cordaïanthus Lacattei* représenté fig. 16, pl. 17. Section longitudinale d'un ovule près du plan AP.

A relever en passant que Renault admet la présence de bractéoles fixées sur le support qui porte l'ovule.

Quand Renault est revenu sur ce sujet par la suite il s'est borné à rappeler les résultats de sa *Note à l'Académie* et de son *Mémoire* de 1879.

Il convient de signaler le paragraphe des *Einleitung in die Paläophytologie*, du comte de Solms-Laubach (p. 117 à 119)(1), qui rectifie quelques-unes des observations de Renault après examen personnel de ses préparations par l'éminent professeur de Strasbourg, causant et discutant avec Renault lui-même.

Je regrette bien vivement que les *Lectures sur les graines des Gymnospermes anciennes*, que mon savant collègue M. le professeur F.-W. Oliver a données à l'Université de Londres en 1906, n'aient pas encore paru, me mettant ainsi dans l'impossibilité de profiter des remarques personnelles qu'il a faites sur ses propres préparations et sur celles de B. Renault.

Les traités classiques de MM. R. Zeiller, H. Potonié, Seward, du Dr D.-H. Scott, rappellent les indications données par Renault. Le résumé du Dr Scott est particulièrement étendu. Les figures de Renault y sont reproduites.

STATISTIQUE DES BOURGEONS FLORAUX DE CORDAÏTES

(Préparés par B. Renault)

En réunissant les préparations de bourgeons floraux de Cordaïtes sur lesquelles ont porté les explorations de Renault, nous

(1) H. Grafen zu Solms Laubach. *Einleitung in die Paläophytologie*. Leipzig, 1887.

avons obtenu le relevé suivant qui permet de se faire une idée des documents que nous allons mettre en œuvre :

76 préparations provenant toutes du gisement de Grand'Croix (1) ouvrent 96 bourgeons floraux ;

27 préparations contiennent ensemble 34 *bourgeons de sexe inconnu*, c'est-à-dire dans lesquels on ne voit ni étamines ni ovules ;

35 préparations ouvrent 39 *bourgeons mâles*, c'est-à-dire présentant des étamines. *Dans 3 bourgeons seulement les étamines contiennent du pollen développé.* De ces 35 préparations 8 contenant à la fois des *bourgeons mâles* et d'autres *bourgeons de sexe inconnu* figurent dans ces deux premiers groupes de préparations ;

4 préparations contiennent ensemble 5 bourgeons qui sont *peut-être* femelles mais sur le sexe desquels il y a hésitation, soit à cause du mauvais état des débris des organes sexuels, soit parce que ceux-ci peuvent avoir été injectés avec la gelée qui a pénétré entre les écailles du bourgeon. *Une de ces préparations figure à la fois dans le groupe des préparations des bourgeons floraux de sexe inconnu et dans celui-ci ;*

19 préparations ouvrent 18 bourgeons pourvus d'ovules ou bourgeons femelles. *Un seul bourgeon présentait un ovule en état de pollinisation.*

Ces nombres donnent les pourcentages ci-après (2) :

Bourgeons de sexe inconnu (34)	35,40
— mâles (39)	40,61
— sans pollen développé (36)	37,48
— avec pollen développé (3)	3,12
— de sexe douteux, <i>probablement femelles</i> (5)	5,20
— femelles (18)	18,74
— en pollinisation (1)	1,04

Le pourcentage des bourgeons femelles est donc beaucoup plus faible que celui des bourgeons mâles. Or, les préparations de Renault ont été faites en choisissant de préférence les gros bourgeons où il pouvait espérer rencontrer des organes sexuels

(1) Sur aucune d'elles je n'ai trouvé d'indications certaines spécifiant qu'elles vissent d'un autre gisement.

(2) Pour 96, le coefficient de conversion centésimale est 1,0415. — La préparation du *Corlaianthus Lacathei* qui n'a pas été retrouvée ne figure pas dans ce relevé.

plus développés et surtout des organes femelles. Le nombre 19,78 exagère sensiblement le coefficient de fréquence des bourgeons femelles. Si on pouvait tenir compte de tous les bourgeons floraux rencontrés, aussi bien de ceux qui ont été préparés en vue de la recherche des organes sexuels que de ceux qui ont été rencontrés sur des coupes faites dans un autre but, le coefficient des bourgeons femelles serait fortement abaissé. Celui des bourgeons de sexe connu le serait aussi mais beaucoup moins. Le coefficient des bourgeons mâles varierait peu.

La position des coupes transverses a une influence très marquée sur l'attribution des préparations à la catégorie des bourgeons de sexe inconnu ou de sexe mâle. Ainsi :

Pour 34 bourgeons de sexe inconnu il a été trouvé (1) :

	POURCENTAGE sur 34
16 coupes <i>sous-apicales</i>	47,05
5 coupes <i>sus-apicales</i>	14,70
13 coupes longitudinales.	38,23

Pour 39 bourgeons mâles il a été trouvé :

	POURCENTAGE sur 39
3 coupes <i>sous-apicales</i>	7,79
13 coupes <i>sus-apicales</i>	33,43
23 coupes longitudinales.	59,07

Les fleurs mâles sont certainement plus fréquentes vers le sommet du bourgeon mâle. Elles n'y sont pas exclusivement localisées, tant s'en faut.

Les bourgeons femelles contiennent un ou plusieurs ovules. Ils ne contiennent pas d'étamines. Ensemble, les 18 bourgeons ouverts contiennent 42 à 45 ovules dont un seul en état de pollinisation.

Des 18 bourgeons femelles un seul a donné deux préparations B 193, c 4 et B 193, c 5.

Les 19 préparations des bourgeons femelles se répartissent ainsi :

3 sections transverses *sous-apicales*, c'est-à-dire coupant l'axe

(1) Coefficients de conversion : pour 34 = 2,941, pour 39 = 2,564.

de l'inflorescence femelle au-dessous de son sommet. Les ovules rencontrés sont nettement latéraux et éloignés du sommet :

- B 193, c 6. 2 gros ovules (non figurée).
 B 193, c 13. 2 gros ovules (fig. 36, pl. 5).
 B 193, c 8. (?) 1 gros ovule (1) [fig. 42, pl. 5].

Soit 3 (?) ou au moins 2 bourgeons femelles contenant 5 (?) ou au moins 4 ovules.

6 sections transverses *sus-apicales*, c'est-à-dire coupant le bourgeon femelle au-dessus de son sommet végétatif :

- B 193, c 1. 1 gros ovule très éloigné du sommet entre les bractées et 3 systèmes collecteurs ou ovules atrophiés extérieurs aux bractées (fig. 35, pl. 4).
 B 193, c 2. 3 ovules voisins du sommet, l'un d'eux est bien développé, les deux autres sont atrophiés. Il y a, en plus, un premier appareil collecteur entre les écailles et, avec doute, un second appareil collecteur *déformé*, également entre les écailles (fig. 15, pl. 2).
 B 193, c 3. 2 gros ovules placés à proximité du sommet et trois systèmes collecteurs ou ovules atrophiés extérieurs aux bractées (fig. 9 et suiv., pl. 2).
 B 193, c 12. 3 gros ovules voisins du sommet et un appareil collecteur extérieur aux bractées (fig. 6, pl. 1).
 B 193, c 14. 2 gros ovules éloignés du sommet et un appareil collecteur entre les bractées (fig. 31, pl. 4).
 B 193, c 15. 5 ovules séparés du sommet par 11 bractées. Les 5 ovules sont insérés vers le même niveau sur une hélice ascendante dextre; l'un d'eux est atrophié, les autres sont à divers états de croissance (fig. 1, pl. 1).

Soit 6 bourgeons femelles contenant 16 ovules coupés dans leur région moyenne et au moins 9, peut-être même 10 ovules, coupés dans leur appareil collecteur. On remarquera de suite *la position souvent extérieure aux écailles bractéales de ces appareils collecteurs*.

3 sections *très obliques* :

- B 193, c 7. 1 gros ovule paraissant voisin du sommet par suite de l'obliquité de la coupe (non figurée).

(1) Le corps pédonculé à cavité centrale qu'on a regardé comme un ovule ne me paraît pas être un ovule. Je n'y ai trouvé ni nucelle, ni faisceau tégumentaires (fig. 44, pl. 5). J'y vois le bas d'une bractée évidée accidentellement. Il y a donc doute sur ce bourgeon en tant que bourgeon femelle.

B 193, c 20. 2 gros ovules voisins du sommet et *peut-être* un appareil collecteur placé entre les écailles inférieures (non figurée).

B 192, c 20. 2 gros ovules voisins du sommet (non figurée).

Soit 3 bourgeons femelles avec 5 ovules et *peut-être* 1 appareil collecteur.

6 sections longitudinales :

B 193, c 5 et c 4. 2 gros ovules latéraux et plusieurs collecteurs encore latéraux. On ne peut préciser leur nombre. Il y en a un qui se détache dans le groupe de ces collecteurs (fig. 19, pl. 3).

B 193, c 9. 1 ovule latéral (non figurée).

B 193, c 10. 1 ovule latéral (non figurée).

B 193, c 16. 1 gros ovule très voisin du sommet (fig. 28, pl. 4).

B 193, c 17. 1 gros ovule voisin du sommet (fig. 25, pl. 3).

Soit 5 bourgeons femelles avec 6 ovules et au moins 1 appareil collecteur.

1 section longitudinale d'un ovule en pollinisation B 190, c o. Cet ovule est voisin du sommet du bourgeon.

Au total 18 bourgeons femelles contenant au moins 42 ovules et *peut-être* 45, 32 à 33 ovules étant coupés longitudinalement ou transversalement dans leur région ventrale, 10 à 12 n'étant indiqués que par la section de leurs lobes collecteurs.

CATALOGUE DES PRÉPARATIONS DE BOURGEONS FEMELLES CONSERVÉES AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE DE PARIS.

(Collection B. Renault)

Les préparations types

Je considère comme *préparations types* les préparations qui ont été figurées par B. Renault. Ce sont elles qui définissent maintenant les objets qu'il avait en vue dans ses descriptions sommaires et auxquelles il faudra nécessairement se reporter, au moins à titre de terme de comparaison, lorsqu'on voudra décrire de nouveaux bourgeons femelles.

Les préparations types sont au nombre de quatre, savoir :

B 190, c 0, dite *Cordaïanthus Grand'Euryi*, B. R., fig. 14 et 15, pl. 17 du Mémoire *Structure comparée*, etc. Section méridienne d'un ovule en pollinisation. La section passe dans le plan des faisceaux tégumentaires. Il y a deux grains de pollen dans la chambre pollinique. Deux autres grains sont encore engagés dans le canal du bec nucellaire. Renault, après avoir figuré cette préparation, a voulu l'amincir. Quelques-uns des détails jadis visibles et rappelés sur les figures ont disparu. La préparation est moins favorable en son état actuel qu'au moment de sa première figuration. Elle est montée sur une dalle 31×31 d'où on ne peut songer à l'enlever pour la transporter sur un slide en glace sans certitude d'écroulement.

B 190, c 5, dite *Cordaïanthus Williamsoni* B. R., fig. 11 et 12, pl. 17 l. c. Section tangentielle dans un bourgeon femelle. La section coupe presque radialement un ovule dans le plan que j'ai appelé GD dans mes descriptions des graines digones isolées. Elle passe donc entre les deux lobes collecteurs de son tégument. Cette section rencontre les cavités que j'ai nommées *bothrions* dans le fond de la graine des *Diplotesta*.

C'est cette préparation qui a donné l'impression d'un ovule bitégumenté dont le tégument intérieur était séparé du fond de l'ovule par un pédoncule. Cette section rencontre dans la partie droite du bourgeon et à la même hauteur, un second ovule coupé beaucoup plus en dehors. Dans le haut du bourgeon, la section coupe les appareils collecteurs d'autres ovules plus élevés. Un de ces appareils est nettement reconnaissable. Il y en a plusieurs autres, mais on ne distingue pas bien ce qui appartient à chacun d'eux et ce qui appartient aux bractées voisines (fig. 19 et 22, pl. 3).

La préparation B 193, c 4 est tirée du même bourgeon. Elle est plus axiale pour le bourgeon. Elle est beaucoup moins favorable pour les ovules. Elle montre bien l'attache des poils sur les bractées (fig. 23, pl. 3).

B 193, c 15, dite *Cordaïanthus Zeilleri* B. R., fig. 13, pl. 17. l. c. Section transverse sus-apicale d'un bourgeon qui contient cinq ovules. Quatre sont bien développés, un cinquième est atrophié et aplati. Ce dernier n'a pas été remarqué par mon illustre ami. Il y a encore onze bractées entre l'ovule atrophié et le sommet du bourgeon. Les dernières écailles sont très jeunes. On voit, entre elles, des poils contractés rappelant les villosités du *Cordaïanthus Williamsoni* (fig. 1 à 4, pl. 1).

Il y aurait une quatrième préparation type dite *Cordaïanthus Lacatelli* B. R. fig. 16, pl. 17, section longitudinale d'un ovule coupé dans le voisinage de son méridien principal. Comme je l'ai dit, cette préparation n'a pas été retrouvée, mais il y a lieu de se demander si le bourgeon qui l'a fournie n'a pas donné en même temps B 193, c 16, comme B 193, c 4 a donné B 193, c 5. La figure 16, pl. 17, répond à ce que serait une coupe prise contre B 193, c 16. Le tégument séminal y est ouvert dans sa région ventrale par une fente qui laisse voir le nucelle recroquevillé sur B 193, c 16. Elle montre un lambeau du pé-

doncule ovulaire alors que l'ovule paraît librement suspendu sur B 193, c 16. Les faisceaux apparaissent sur la figure 16 quand ils disparaissent sur B 193, c 16 et vice versa. La description sommaire de Renault s'applique également bien aux deux préparations. B 193, c 16 porte la marque des préparations que Renault a figurées au grossissement 4. Or elle n'est pas l'original de la figure 16, pl. 4, mais elle peut être la coupe contiguë. Si mes prévisions sont exactes B 196, c 16 aurait un intérêt particulier parce qu'elle représenterait les ovules unitégumentés que Renault signalait en 1877. Cette figure 16, pl. 17, n'a plus été reproduite.

Les préparations importantes

Je considère comme *préparation importante* toute préparation de Renault qui apporte de nouveaux documents à la connaissance de tout ou partie du bourgeon femelle, ainsi que toute préparation dans laquelle la bonne conservation des objets permet d'obtenir de bonnes figures, ou même simplement de meilleures figures.

Les préparations importantes sont au nombre de six :

Sections transverses sus-apicales : Cinq, savoir :

B 193, c 1. — Section transverse sus-apicale dans un bourgeon qui présente un gros ovule entre ses écailles les plus externes. Certaines bractées sont atrophiées. L'ovule principal coupé transversalement dans sa région inférieure montre son nucelle lamellaire contracté et plissé dans la cavité séminale. Sur le flanc gauche du bourgeon (1) *et en dehors des écailles* la section rencontre les appareils collecteurs de trois ovules (2) [fig. 35, pl. 4].

B 193, c 2. — Section transverse sus-apicale dans un bourgeon contenant trois ovules développés très voisins du sommet. Un seul ovule est bien développé, les deux autres sont atrophiés. L'ovule développé est coupé au niveau de la base *de son bec nucellaire rétracté*. Les deux ovules atrophiés sont coupés dans leur nucelle. Celui-ci est réduit à une mince lamelle. Entre les écailles externes de la partie antérieure de la figure la section coupe les deux lobes en gouttière d'un appareil collecteur. En arrière, la section rencontre deux petits organes *paraissant fermés* qui sont peut-être aussi les lobes déformés d'un autre appareil collecteur. Cette préparation montre au moins quatre ovules et peut-être un cinquième ovule. La conservation des organes est médiocre (fig. 15, pl. 2).

B 193, c 3. — Section transverse sus-apicale d'un gros bourgeon

(1) J'admetts, sauf indication contraire, que l'observateur est placé dans l'axe du bourgeon femelle qu'il décrit.

(2) Cette préparation, pleine de bulles d'air, devrait être remontée.

présentant deux ovules développés. Celui du bas est coupé entre le dôme tégumentaire et le nucelle rétracté. Le tégument montre son faisceau f_a désagrégé et son épiderme rhabdocarpie. L'ovule antérieur est coupé à la base de ses lobes collecteurs. Il montre la structure du dôme tégumentaire. Le canal micropylaire est bourré de grains de pollen de Cordaïtes. Il n'y a que trois ou quatre écailles entre les ovules et le sommet. Sur la partie antérieure droite du bourgeon et en dehors des écailles la section coupe trois appareils collecteurs. Le plus rapproché du plan médian gauche droite a ses lobes collecteurs adhérents par leurs bords. Ce bourgeon a été légèrement plié par affaissement dans sa partie droite entre les deux ovules. Ce bourgeon s'est déposé en se couchant sur le flanc du côté où était un des gros ovules (fig. 9, pl. 2).

B 193, c 12. — Section transverse sus-apicale dans un bourgeon qui contient trois gros ovules voisins du sommet. Il y a six écailles entre les ovules et le sommet. Le gros ovule de gauche est le plus développé. Il est encore jeune. Il devient prédominant. L'ovule de droite, moins avancé, est très jeune. Tous deux sont coupés transversalement au-dessus du nucelle rétracté. L'ovule postérieur est coupé très obliquement. A droite un ovule extérieur est coupé en bas de son collecteur qui paraît tubulaire. En dehors du bourgeon et en arrière, la section rencontre trois sacs polliniques renfermant du pollen de Cordaïtes (fig. 6, pl. 1).

B 193, c 14. — Section transverse sus-apicale dans un bourgeon qui contient deux gros ovules développés coupés au-dessus du nucelle. Les épidermes tégumentaires externes sont rhabdocarpiens, c'est-à-dire à cellules étroites palissadiques. Elles montrent toutes leur noyan. Les ovules sont ici séparés du sommet par un grand nombre d'écailles bractéales. Les écailles bractéales moyennes du bourgeon sont plus étroites et plus petites que celles qui les précèdent et que celles qui les suivent. En arrière et entre les bractées, la section coupe un troisième ovule dans ses lobes collecteurs (fig. 31 et suiv., pl. 4).

Sections transverses sous-apicales : 1, savoir :

B 193, c 13. — Section transverse sous-apicale dans un bourgeon qui présente deux ovules développés éloignés du sommet. L'ovule postérieur est coupé au niveau du bas de son bec nucellaire. Il ne présente rien qui rappelle un tégument intérieur. L'autre ovule est coupé plus bas dans le haut du sac nucellaire. Le nucelle est réduit à une lame mince plissée. Dans le flanc extérieur, ou flanc G de son tégument, la lame profonde, légèrement isolée, comme il arrive si souvent, a donné à Renault l'impression d'un tégument interne. Cette préparation montre un peu la structure de la couronne libéroligneuse de l'axe de l'inflorescence avec ses huit groupes de faisceaux placés sur un seul rang. Elle montre aussi l'atrophie partielle et la contraction des écailles bractéales près des ovules développés (fig. 36, pl. 5).

Les préparations documentaires

Je range dans les préparations n'ayant qu'une valeur documentaire les préparations qui montrent seulement des faits déjà connus dont elles confirment la réalité particulièrement quand l'état de conservation des objets laisse à désirer ou est sensiblement moins bon que celui des pièces dont la figuration a été publiée. Les préparations documentaires de cette partie de la collection Renault sont au nombre de *sept* :

Sections transverses sus-apicales : 0.

Sections transverses sous-apicales : 2. Savoir :

B 193, c 6. — Section transverse sous-apicale d'un bourgeon qui contient deux ovules développés très éloignés du sommet. Les deux ovules fortement plissés sont coupés au-dessus du nucelle. Cette préparation montre la couronne libéroligneuse de l'axe de l'inflorescence semblable à celle de la préparation B 193, c 13 (non figurée).

B 193, c 8. — Section transverse sous-apicale d'un bourgeon. Elle est sensiblement oblique. Il s'agit probablement d'une autre espèce. La largeur de la moelle de l'axe du bourgeon est plus grande. Les faisceaux de la couronne libéroligneuse sont plus nombreux. Les traces foliaires sortantes sont plus horizontales et ondulées. La section coupe un organe annulaire fixé par un côté à l'axe de l'inflorescence. Cet organe a été regardé comme un ovule abîmé. Je ne reconnais pas un ovule dans ce corps. Je n'y ai vu ni faisceaux tégumentaires ni nucelle. Je le lis comme une base d'écaille bractéale accidentellement évidée contenant une grosse pelote de pollen dans sa cavité. Le contour de cet organe est particulièrement vilieux (fig. 44, pl. 5). Cette préparation B 193, c 8, intervient donc avec doute comme unité dans la statistique des bourgeons femelles.

Sections longitudinales : 3. Savoir :

B 193, c 9. — Section tangentielle dans l'extrémité supérieure de l'axe d'un bourgeon femelle. Elle coupe obliquement un ovule logé devant une des écailles inférieures (non figurée).

B 193, c 10. — Section longitudinale oblique dans l'extrémité supérieure d'un bourgeon femelle *court*. Elle coupe obliquement un ovule placé devant une écaille inférieure (non figurée).

B 193, c 17. — Section longitudinale, presque radiale, dans l'extrémité supérieure d'un bourgeon femelle effilé. Elle coupe le bas d'un ovule dans le plan de ses faisceaux tégumentaires. *Le bec nucellaire est tombé dans la cavité séminale. Il y paraît en liberté.* L'obliquité de la coupe dans le haut fait paraître l'ovule terminal (fig. 25, pl. 3).

Sections très obliques : 3. Savoir :

B 193, c 7. — Section très oblique dans le haut d'un bourgeon femelle. Elle coupe *transversalement* les bractées médianes inférieures puis elle entame un ovule. L'ovule est taillé très obliquement dans son tégument au voisinage d'un faisceau tégumentaire et ensuite parallèlement à la surface de son nucelle (non figurée).

B 193, c 29. — Section très oblique dans un très long bourgeon femelle. La section rencontre obliquement deux ovules développés dans le haut du bourgeon. Devant une des écailles les plus inférieures on voit la section transverse d'un corps contracté qui est *peut-être* un ovule atrophié (non figurée).

B 192, c 20. — Section longitudinale dans un bourgeon. Elle rencontre très obliquement deux ovules voisins du sommet. Conservation très mauvaise (non figurée).

Les préparations d'attribution douteuse

Je considère comme *préparations douteuses*, en tant que bourgeons femelles, les préparations où il n'a été relevé que des traces incertaines d'ovules, ou bien dans lesquelles les fragments d'ovules rencontrés peuvent avoir été injectés entre les écailles bractéales avec la gelée fondamentale du dépôt où les bourgeons s'enlisaient. Je n'en ai point tenu compte dans la statistique des 18 bourgeons femelles.

Les préparations douteuses se répartissent ainsi :

Coupes sous-apicales : 1.

Coupes longitudinales : 2.

Coupes sus-apicales : 1.

Coupes obliques : 1.

B 190, c 1. — Le bourgeon principal, *coupé obliquement au-dessous de son sommet*, montre devant deux écailles la section de mamelons qui sont *peut-être des supports d'ovules*. Il y a donc hésitation sur le sexe de ce bourgeon avec une indication dans le sens de bourgeon femelle possible. Dans un autre bourgeon de la même préparation une section oblique *sus-apicale* montre entre ses écailles les fragments d'un ovule dilacéré tranché dans sa région médiane, et aussi la section d'un appareil collecteur entre les écailles du même bourgeon. Il est donc presque certain que ce bourgeon était femelle. Il compense en quelque sorte l'introduction de B 193, c 8, dans la statistique des bourgeons femelles.

B 190, c 9. — La section *sus-apicale très oblique* du bourgeon montre à côté de lui et en dehors de ses écailles trois appareils collecteurs. Par analogie avec B 193, c 3, on peut *peut-être* rattacher ces trois ovules extérieurs au bourgeon voisin. — Il y a donc des *probabilités* pour que celui-ci soit un bourgeon femelle.

B 190, c 11. — *Section longitudinale* d'un bourgeon contenant entre ses écailles *les débris d'un corps qui est peut-être un ovule*. Le corps coupé obliquement est-il à sa place naturelle? *A-t-il été apporté par la gelée injectée entre les écailles?* — Je conclus : sexe inconnu, non établi.

B 192, c 2. — *Section longitudinale* d'un gros bourgeon qui présente entre ses écailles des mamelons rappelant les coupes obliques du support ovulaire. Donc sexe douteux et possibilité de bourgeon femelle.

L'ATTRIBUTION DE CES BOURGEONS FEMELLES

Fourquoi ces bourgeons sont rapportés aux Cordaïtes

Les caractères qui ont déterminé Renault à rapporter les bourgeons floraux que nous étudions aux Cordaïtes sont les suivants :

1° Il y a *identité de forme entre ces bourgeons silicifiés* à petites écailles nombreuses, imbriquées, *et les bourgeons sessiles attachés sur les régimes de Cordaïanthus rencontrés à l'état d'empreinte*. D'autre part, *M. Grand'Eury a constaté plusieurs fois l'attache de ces Cordaïanthus sur des rameaux de Cordaïtes encore munis de leurs feuilles*.

2° *L'origine très restreinte du matériel étudié est favorable à l'attribution de ces bourgeons aux plantes représentées dans le même gisement par de fréquents débris lorsque la concordance est possible*. Si l'on écarte sans difficulté *Sphenophyllum*, *Botryopteris*, etc., par contre, *Poroxyylon*, *Cordaïtes* sont des attributions acceptables. Les probabilités sont en faveur des Cordaïtes dont les restes abondent et dominent nettement dans le gisement de Grand-Croix et pour lesquels aussi on a déjà relevé une identité morphologique.

3° *L'ovule présente les caractères essentiels reconnus dans les graines attribuées aux Cordaïtes*. L'ovule est cordiforme, élargi à sa base dans le plan que j'ai appelé AP dans l'étude des graines isolées, rétréci, ovoïde, dans le plan GD perpendiculaire à AP. Il a deux faisceaux tégumentaires symétriques placés à la limite interne de la zone externe de son unique tégument dans le plan AP. Renault énonçait ces mêmes faits en disant ovule généralement bitégumenté avec faisceaux tégumentaires symétriques placés à la

surface interne du tégument externe, — à nucelle très indépendant du tégument.

A ces premiers caractères déjà utilisés par B. Renault, j'ajouterai :

4° S'il y a une grande dissemblance morphologique entre la feuille végétative multinerviée des Cordaïtes et la bractée uninerviée à insertion étroite des bourgeons femelle, *il y a pourtant identité parfaite de structure entre la nervure réduite de cette feuille végétative et la nervure de la bractée*. Tout en sachant l'extrême prudence qu'il faut apporter *lorsqu'il s'agit de justifier des rapprochements par la ressemblance de nervures réduites et de nervures grêles*, celle-ci mérite d'être signalée.

5° La structure du faisceau dans les masses réparatrices de la couronne libéroligneuse de l'axe du bourgeon n'est que très imparfaitement probatrice pour fixer le choix entre Cordaïtes et Poroxyton. Autant qu'on en peut juger d'après le mauvais état de conservation des pièces, la partie antérieure des masses ligneuses est faite de gros éléments avec ornementation en hélice. Est-ce l'indice d'une différenciation d'un bois primaire centripète ? Est-ce simplement un dispositif diaphragmatique lié aux nombreuses sorties qui se font dans cette région (fig. 38 et 45, pl. 5) ?

Pourquoi ces bourgeons femelles sont rapportables à des *Diplotesta*

Bien que Renault ait cru reconnaître deux espèces d'ovules dans les bourgeons femelles, les uns *bitégumentés*, les autres *unitégumentés*, il a pensé de suite que ces bourgeons floraux provenaient du genre *Diplotesta* G. E., et en particulier du *Diplotesta avellana* A. Br. Il a donné comme seule raison de cette attribution la *communauté de gisement* des graines de *D. avellana* avec les bourgeons femelles. Renault a certainement subi l'impression d'autres caractères qu'il n'a pas énoncés, comme l'identité de structure du dôme tégumentaire de l'ovule antérieur de sa préparation B 193, c 3 (fig. 11, pl. 2) avec la structure du dôme d'une graine mûre de *D. avellana*. Épiderme palissadique, tissu fondamental rayonnant dans la région dorsale, absence de paquets scléreux, faisceau tégumentaire simple pour chaque lobe, sont les mêmes dans l'ovule encore jeune et dans la graine développée

du *D. avellana*. L'attribution des bourgeons femelles au genre *Diplotesta* s'imposait. On peut la préciser par les remarques suivantes :

1° Les faisceaux tégmentaires sont simples, placés tangentiellement à la face interne du sarcotesta contre les crêtes de l'endotesta ou coque, en dehors de ces crêtes (fig. 28, pl. 4), ces faisceaux ont une marche récurrente à la base de l'ovule. L'épiderme de l'ovule est palissadique. Ces caractères spécifient qu'il s'agit d'un genre rhabdocarpien : *Rhabdocarpus*, *Cyclocarpus*, *Diplotesta*;

2° L'absence de paquets fibreux parallèles au méridien au voisinage de l'épiderme dans les dômes déjà caractérisés exclut les *Rhabdocarpus* avec leurs *musceaux fibreux* (fig. 30, pl. 4);

3° La présence de *bothrions*, cavités symétriques développées à la base de l'ovule dans le plan GD, spécifie *Diplotesta* et écarte le genre *Cyclocarpus*;

4° Il y a identité de structure du dôme dans l'ovule jeune et dans la graine de *Diplotesta*.

C'est donc avec la notion bourgeons femelles de Cordaïtes et particulièrement *bourgeons femelles de leur genre Diplotesta*, qu'il convient d'aborder l'analyse de ces matériaux.

LE BOURGEON FEMELLE DANS SON ENSEMBLE SON AXE ET SES BRACTÉES

L'ensemble du bourgeon femelle

Les bourgeons dits femelles sont de *jeunes inflorescences* dont les feuilles supérieures, encore serrées, cachent de jeunes ovules. Ceux-ci, non encore allongés, ne dépassent pas le sommet des écailles supérieures. Inversement, les ovules inférieurs plus avancés ont déjà leur appareil collecteur allongé, saillant, dépassant le sommet des écailles inférieures. *Beaucoup de ces ovules inférieurs sont atrophiés, très grêles* (fig. 9, pl. 2).

Ces inflorescences sont de *petites grappes simples* non ramifiées. Renault n'a pas trouvé d'*inflorescences femelles ramifiées* (1).

(1) Les bourgeons mâles sont aussi des inflorescences en *grappe simple*, mais on y connaît plusieurs exemples de ramification.

Les trois échantillons B 191, c 9, B 191, c 15 et c 16, B 192, c 15, présentent plusieurs bourgeons latéraux insérés autour du sommet d'un même axe primaire.

(Suite de la note page 46)

Chaque bourgeon comprend une tige axiale terminée par un point de végétation en cône mousse (fig. 19 et 25, pl. 3). La tige était toute couverte de petites écailles ou feuilles bractéales uninnerviées villeuses sur leurs deux faces (fig. 36, pl. 5) disposées en hélice. Il n'a pas été possible de déterminer le cycle de ces hélices dans les divers bourgeons analysés à cause des perturbations qu'y a introduites le développement des fleurs femelles.

Devant la plupart des écailles bractéales il n'y a rien, pas même la trace d'un organe atrophié, ou seulement des restes de poils fripés par contraction. Devant quelques autres écailles, *très peu nombreuses*, il y a une fleur femelle. On ne doit pas oublier que *cette appréciation est donnée sur un très petit nombre de coupes sous-apicales* seules favorables.

En général, le développement de la fleur femelle a provoqué des perturbations locales, glissements et chevauchements des organes voisins. Il est ordinairement très difficile de reconnaître la bractée-mère à l'aisselle de laquelle est née la fleur femelle et dont celle-ci représente le bourgeon axillaire (fig. 2, pl. 1). Certaines écailles bractéales étaient frappées d'atrophie. Ces atrophies sont nombreuses, inégalement réparties. Elles sont particulièrement nombreuses près des ovules développés. Souvent l'ovule semble avoir glissé comme entraîné dans le sens des hélices secondaires dominantes. Inversement les bractées postérieures ont été comme refoulées sur ces hélices.

B 191, c 9, présente 5 bourgeons dont 4 au moins sont latéraux, deux de ceux-ci sont des bourgeons mâles.

B 191, c 15 et c 16, présente 6 bourgeons dont 5 au moins sont latéraux, deux de ceux-ci sont des bourgeons mâles.

B 192, c 15 présente 4 bourgeons dont 3 au moins sont latéraux, un de ceux-ci est un bourgeon mâle.

Ces trois échantillons se ressemblent beaucoup. Ils dénotent un type d'inflorescence mâle en grappes composées nettement opposé aux inflorescences mâles en grappes simples.

Pres de ce type, je signalerai la préparation B 190, c 19, section sous-apicale d'un bourgeon de *sexu inconnu à couronne libéroligneuse, continue* où des cordons rattachés à cette couronne semblent se rendre dans des organes axillaires.

Dans la préparation B 190, c 16, section presque apicale d'un bourgeon de *sexu inconnu*, on voit quelques fragments de baguettes axillaires et ailleurs d'écailles grêles groupées autour d'un centre commun ou autour d'une baguette axillaire. La très mauvaise conservation de l'objet en rend la lecture difficile, mais il y a encore là un indice de ramification de certaines inflorescences mâles.

B 191, c 1 montre des écailles bractéales à dos très épais, portant deux grandes expansions limbaires minces ramenées en avant *de façon à enfermer un bourgeon axillaire*. Il s'agit donc là aussi d'une inflorescence ramense très différente des précédentes. Le *sexu* en est inconnu. Le seul bourgeon ouvert ne montre ni étamines, ni ovules.

Par suite de la distribution des bractées sur une hélice, la plupart d'entre elles se présentent *en section extra-méridienne* sur les coupes longitudinales. Les sections transverses les coupent à des hauteurs variables suivant leur distance au point de végétation et suivant leur état de développement. Sur les coupes transverses *sous-apicales* les écailles sont coupées *d'autant plus haut qu'elles sont plus externes*. La coupe peut même rencontrer les *collecteurs* des ovules externes sans rencontrer les sommets des bractées correspondantes. La coupe transversale d'ensemble du bourgeon montre alors *quelques collecteurs ovulaires isolés et des ovules atrophiés très grêles extérieurs à ses premières bractées*. Sur les coupes *sus-apicales*, à partir d'un certain rang plus ou moins éloigné de l'axe de figure, les écailles bractéales et les ovules sont aussi coupés d'autant plus haut qu'ils sont plus externes. *Tant que le bourgeon est jeune, les bractées intérieures à ce rang sont au contraire coupées d'autant plus haut qu'elles sont plus intérieures et moins développées. Il en est de même pour les ovules*. Le fond des aisselles bractéales est rarement visible et seulement sur les coupes longitudinales et sur les coupes sous-apicales.

La répartition des ovules entre les écailles bractéales est très variable. Beaucoup d'ovules sont éloignés du point végétatif et nettement latéraux. Un moindre nombre sont plus ou moins voisins du sommet devant les bractées les plus élevées. La moindre obliquité dans la partie supérieure d'une coupe longitudinale du bourgeon fait paraître ses derniers ovules en position terminale. Au contraire, les coupes sous-apicales ne peuvent montrer que les fleurs latérales.

La jeune inflorescence contenait de 3 à 5 fleurs. Il y en a souvent 2 sur les coupes sous-apicales, 3 à 5 sur les coupes sus-apicales; les plus élevées sont coupées dans le corps même de l'ovule, les plus inférieures sont coupées dans leurs collecteurs.

Contrairement à l'indication de Renault, je ne vois pas d'écailles latérales accompagnant l'ovule et se détachant de son pédicelle, *ni auprès des ovules développés, ni auprès des ovules atrophiés même lorsqu'ils sont très voisins du sommet, ni dans l'aisselle des bractées stériles*. Pour ces dernières, il semble même que l'aisselle de l'écaille était habituellement vide. Sur les sections sous-apicales on ne voit aucune production montrant un

Tableau de la répartition des fleurs dans les Inflorescences femelles

B 193, c 6. Sous-apicale.	2 fleurs très extérieures.	2 ovules développés coupés dans leur région ventrale.
B 193, c 13. Sous-apicale.	2 fleurs très extérieures.	2 ovules développés coupés dans leur région ventrale.
B 193, c 8. Sous-apicale.	2 fleurs très extérieures.	
B 193, c 1. Sus-apicale	4 fleurs très extérieures.	1 ovule développé très extérieur; 3 ovules coupés dans leurs collecteurs.
B 193, c 2. Sus-apicale	4 ou 5 fleurs. 3 voisines du sommet, 1 ou 2 (?) très extérieures.	3 ovules voisins du sommet, 1 développé, 2 atrophiés, 1 ou 2 (?) ovules coupés dans leurs collecteurs.
B 193, c 3. Sus-apicale	5 fleurs, 2 fleurs voisines du sommet, 3 très extérieures.	2 ovules développés, séparés du sommet par 4 écailles bractéales, 3 ovules tout à fait extérieurs, coupés dans leurs collecteurs.
B 193, c 12. Sus-apicale	4 fleurs, 3 fleurs voisines du sommet, 1 fleur extérieure.	3 ovules développés, séparés du sommet par 6 écailles bractéales. 1 ovule extérieur aux bractées visibles coupé dans son collecteur.
B 193, c 14. Sus-apicale	3 fleurs assez écartées du sommet.	2 ovules coupés dans leur région ventrale. 1 ovule coupé dans son appareil collecteur entre les écailles bractéales.
B 193, c 15. Sus-apicale	5 fleurs séparées du sommet par 11 bractées.	(Écailles bractéales moyennes du bourgeon fortement réduites.) Les 5 ovules coupés dans leur région ventrale, 4 ovules bien développés, 1 ovule atrophié.
B 193, c 5. Longitudinale tangentielle dans l'axe, médiane dans l'ovule.	3 fleurs au moins.	2 ovules développés, coupés dans le corps de l'ovule entre les écailles inférieures. L'un des ovules est coupé presque dans son plan GD, 1 ovule coupé dans son collecteur entre les écailles supérieures.
B 193, c 4. Longitudinale axiale .	Prise dans le même échantillon que B 193, c 5.	
B 193, c 9. Longitudinale	1 fleur.	1 ovule développé, coupé obliquement entre les écailles inférieures.
B 193, c 10. Longitudinale	1 fleur.	1 ovule développé, coupé obliquement entre les écailles inférieures.
B 193, c 16. Longitudinale axiale .	1 fleur.	1 ovule développé, en apparence terminal. L'ovule est coupé parallèlement au plan AP.
B 193, c 17. Longitudinale axiale .	1 fleur.	1 ovule développé en apparence terminal. L'ovule est coupé dans son plan AP.
B 192, c 20. Longitud. très oblique.	2 fleurs	2 ovules développés et coupés obliquement.
B 193, c 7. Transv. très oblique .	1 fleur.	1 ovule coupé obliquement, parallèle à la surface du nucelle.
B 193, c 20. Longitud. très oblique.	3 fleurs ou 2 fleurs seulement.	2 ovules développés près du sommet? 1 ovule coupé dans son collecteur entre les écailles inférieures.

début de développement d'un bourgeon axillaire. L'affirmation de Renault est si nette dans sa *Note du 4 juin 1877*, elle est si nettement rappelée dans sa *Thèse* que j'ai cherché spécialement à quoi pouvait tenir cette divergence. Je ne vois que deux faits ayant pu donner à Renault l'impression de bractéoles accompagnant l'ovule.

Sur la section B 193, c 5 (fig. 21), qui coupe presque radialement l'ovule gauche, tout contre son plan de symétrie GD, on voit un fragment membraneux fixé sur la face externe du pédicelle ovulaire. Il m'est impossible de lire ce fragment comme une bractéole. La position de la section et sa direction radiale ne lui permettent pas de les rencontrer si ces organes sont latéraux. On aurait beaucoup plus de chance d'apercevoir une bractéole latérale couvrant partiellement l'ovule de droite (1). Je dois ajouter que la coupe *oblique* B 190, c 1, bourgeon n° 1, et la coupe *longitudinale* B 192, c 2, qui rencontrent, croit-on, la surface de pédoncules ovulaires, ne montrent pas de bractées sur ces pédoncules.

D'autre part, on est frappé du silence que la description de Renault garde au sujet des organes que je considère comme des *appareils collecteurs*. Elle n'en parle pas. Renault a certainement vu ces organes dans ses coupes transverses, la divergence tient probablement à ce qu'il lisait aussi bractéoles latérales les organes que je suis amené à présenter comme les deux lobes d'un appareil collecteur.

La préparation B 193, c 2 (fig. 15, pl. 2), montre deux lamelles faiblement carénées, pliées en gouttière, placées devant une bractée. L'ensemble est symétrique par rapport au plan médian de cette bractée. Les bords de la gouttière sont un peu déprimés. Ils sont libres, voisins de la surface de symétrie de la bractée, alors que les carènes ou sommets des gouttières en sont écartés. Le côté intérieur de chaque gouttière est plutôt tangentiel, d'où une légère dissymétrie entre les deux flancs de chaque gouttière. En cet état on peut penser aux deux bractéoles latérales ou écailles caduques des jeunes fleurs de *Welwitschia*. Je suis surpris qu'avec sa précision ordinaire, Renault n'ait pas dit en les désignant : « il y a deux bractéoles axillaires symétriques ».

(1) Il faut admettre une bractéole antérieure médiane, ce qui est bien rare. M. de Solms s'est déjà élevé contre cette interprétation.

Le même fait se voit dans le bourgeon B 193, c 14 (fig. 31, pl. 4).

On trouve des systèmes analogues contre les bourgeons B 193, c 1 (fig. 35, pl. 4), B. 193, c 3 (fig. 9, pl. 2), *en dehors de leurs bractées externes*. Mais alors on constate que si certains de ces systèmes sont aussi formés de deux gouttières à bords séparés, les bords symétriques des gouttières peuvent venir en contact et même devenir coalescents en produisant un anneau lenticulaire bicaréné. L'union des bords est toujours plus rapide du côté axial ou ventral que du côté bractéal ou dorsal. Dans l'anneau lenticulaire on voit parfois la section d'un organe médian. On a donc l'impression d'un organe tubulaire se terminant en haut par deux lobes carénés symétriques par rapport au plan médian de la bractée. Dans le tube est un corps central. On est en même temps très frappé de l'identité de forme et de structure de ces organes avec celles des sections transverses d'ovules atrophiés plus tardivement. On arrive ainsi à reconnaître dans ces organes que Renault regardait peut être comme des bractéoles *des ovules effilés atrophiés de bonne heure, souvent coupés dans leurs lobes collecteurs carénés pliés en gouttière*. Les coupes supérieures du bourgeon ne rencontrent que ces collecteurs. Les sections longitudinales comme la figure 22, planche 3, montrent en effet ces collecteurs à deux lobes des ovules supérieurs du bourgeon. Je dois ajouter que j'ai toujours constaté la présence d'une *escarre* au sommet des lobes du dôme du *Diplotesta avellana* comme celle que doit laisser un collecteur séché.

Je ne puis croire que Renault, en parlant des bractéoles latérales, ait envisagé un dispositif rappelant celui des bractéoles des *Alnus*, *Betula*, *Carpinus* et *Corylus* où deux paires de bractéoles, représentées parfois chacune par un seul de leurs termes, accompagnent une bractée-mère devant laquelle apparaissent des fleurs femelles dans un groupement généralement triflore. S'il est possible de voir une bractée-mère accompagnée de deux bractéoles près de trois des ovules du *Cordaianthus Zeileri* (fig. 2, pl. 1), cette disposition se trouve en défaut pour l'ovule inférieur droit, et encore plus près de l'ovule atrophié. *Il manque deux bractéoles près de ces deux ovules*. De plus, *chaque groupe triflore serait ici réduit à sa fleur médiane*. Des comparaisons de cette sorte n'étaient pas dans les habitudes de Renault. Le facies de la distribution des bractées du bourgeon B 193, c 15 peut être

obtenu d'une manière beaucoup plus simple : en considérant, par exemple, un appendice et les deux qui lui font suite sur les hélices secondaires dominantes qui passent par le premier.

La structure de l'axe du bourgeon femelle

La documentation directe sur la structure de l'axe du bourgeon femelle est extrêmement restreinte. Il n'existe en effet que trois coupes sous-apicales. Les préparations B 193, c 13 et B 193, c 6 sont concordantes. B 193, c 8 diffère sensiblement des deux autres. S'agit-il même dans cet échantillon d'un bourgeon femelle? Les coupes longitudinales n'apportent que des indications fort restreintes. D'autre part, il est extrêmement délicat *d'employer les coupes sous-apicales des bourgeons de sexe inconnu, où il y a manifestement plusieurs types de structure*, parmi lesquels on voit notamment ceux de B 193, c 13 et de B 193, c 8.

Dans ces conditions *je suis obligé de prendre comme type la structure de l'axe du bourgeon femelle B 193, c 12*. Sa conservation laisse beaucoup à désirer, mais B 193, c 6 est encore en beaucoup plus mauvais état. Par comparaison je ferai ressortir les variantes que présente B 193, c 8.

L'axe du bourgeon femelle non encore épanoui, ou incomplètement allongé, n'a aucune surface libre lui appartenant en propre (fig. 36, pl. 5). Sa surface est encore formée par les bases des bractées qui s'en séparent plus ou moins haut. Sept d'entre elles sont particulièrement reconnaissables comme des saillies à région dorsale tectiforme. Deux de ces pièces, f_1 , f_2 , ont leurs angles latéraux allongés encore libres (1). Elles ne tiennent à l'axe que par une région plus ou moins étendue du milieu de leur face antérieure. Ce sont les deux bractées apparemment les plus inférieures parmi celles que portait le haut du rameau, f_1 est celle dont l'attache est la plus étroite, sa région dorsale est arrondie sans crête. Sa nervure marche horizontalement, partant de la bractée pour s'avancer dans la couche corticale de l'axe. La bractée f_2 présente une carène dorsale très accusée. Son attache médiane antérieure

(1) Les désignations f_1 , f_2 , f_3 .., que je suis obligé d'employer ici pour désigner les diverses bractées, n'indiquent que leur degré de libération apparente mais non leur position relative, réelle sur l'axe du bourgeon. Celle-ci n'a pu être reconnue exactement.

est plus large. Il n'y a plus de nervure dans la bractée. La nervure de f_2 est logée profondément dans la couche corticale.

La bractée f_3 a son bord droit (1) libre bien développé, tandis que son bord gauche est réduit à une amorce très petite. De ce côté le flanc gauche de l'attache de f_3 sur l'axe est uni au flanc droit de l'attache de la bractée f_2 . La carène dorsale de f_3 est très accusée.

Les bractées f_4 et f_5 sont à peu près au même état de libération; f_4 est immédiatement à gauche de f_2 , f_5 est immédiatement à droite de f_3 . Elles n'ont qu'un seul bord libre: le bord gauche pour f_4 , le bord droit pour f_5 . Le côté droit de f_4 s'attache directement sur le flanc gauche de l'attache de f_2 . Le côté gauche de f_5 s'attache directement sur le côté droit de l'attache de f_3 . Les carènes de ces bractées f_4 , f_5 sont faibles.

La bractée f_6 plus petite que f_4 et f_5 est à droite de f_5 . Son bord droit très réduit est encore nettement libre. Son bord gauche est très réduit mais presque libre et comme soulevé en dehors par un arc saillant de la surface de l'axe qui unit le côté gauche de l'attache de f_6 au côté droit de l'attache de f_5 .

Le flanc droit de l'attache de f_1 est réuni au flanc gauche de l'attache de f_4 par une bosselure analogue mais plus faible, à épiderme muriforme *non nettement pileux*.

Entre f_1 et f_6 on voit la dernière bractée reconnaissable comme bractée f_7 ; ses deux bords sont refoulés vers l'extérieur mais non libres. Le bord gauche est relié au flanc droit de l'attache de f_6 par une bosse peu saillante. Le bord droit de f_7 est relié au côté gauche de l'attache de f_1 par une forte saillie suivie d'une dépression de la surface de l'axe, mais il y a en ce point une déchirure. La carène de f_7 est très accusée. Il y a des restes de revêtement pileux dans l'intervalle f_6 , f_1 .

Il n'y a plus de trace foliaire dans le contour de chacune des bractées f_2 à f_7 . La trace foliaire qui paraît correspondre à la saillie f_7 du contour de l'axe prend place entre les faisceaux réparateurs de la couronne libéroligneuse.

De l'état de la bractée f_7 on tombe aux petites saillies mousses de la surface que j'ai indiquées entre f_6 et f_5 , entre f_1 et f_4 , entre f_7 et f_1 et près desquelles il y a des traces de villosités.

(1) Pour un observateur placé au centre de figure de l'axe dont on étudie le contour.

Dans la bractée *f*1 on trouve la structure du bas de la partie libre de la bractée, c'est-à-dire :

Un épiderme dorsal à cuticule épaisse, à cellules assez grandes, à section transverse carrée ;

Une assise sous-épidermique à cellules pentagonales de la taille des cellules épidermiques, ou un peu plus grandes dans la région médiane du dos. La couche peut avoir deux assises, près de la surface de symétrie *C*/*f*1. Quand la bractée est un peu contractée cette assise est souvent affaissée et difficile à voir ;

Une assise épidermique ventrale sur la partie libre des bords. Ces cellules épidermiques ventrales sont plus étroites que les cellules épidermiques dorsales mais de même forme ;

Une assise sous-épidermique ventrale également à cellules pentagonales plus grêles.

Les deux plaques fibreuses dorsales symétriques de la région moyenne des bractées sont extrêmement réduites à leur base. Il n'y a plus qu'un petit nombre de fibres grêles à parois épaissies. Leur section transverse est 5-6 gone. Leur épaississement souvent plus contracté est détaché de la lamelle moyenne très colorée. Les plaques fibreuses sont très écartées du plan de symétrie *C*/*f*1. Elles sont minces, à peine plus épaisses vers la nervure ; elles atteignent toujours l'extrême bord de la bractée.

Je n'ai pas reconnu d'éléments fibreux contre l'assise sous-épidermique ventrale.

Les grandes cellules de la région moyenne de la bractée occupent toute la région dorsale entre la nervure et les éléments sous-épidermiques, ainsi que la surface interne des plaques fibreuses dorsales. Ces cellules deviennent énormes près de la nervure. Les parois de ces grandes cellules sont minces mais colorées.

Il y a quelques cellules plus grêles moins colorées formant un amas de chaque côté de la nervure entre les grandes cellules précédentes, la nervure et l'attache antérieure de la bractée. Les parois de ces cellules sont très minces et très peu colorées, d'où deux taches blanches symétriques par rapport à la nervure.

Dans la bractée *f*2, les plaques fibreuses dorsales ont déjà disparu. Les grandes cellules colorées sont réduites à quelques-unes visibles dans la région dorsale du bord gauche. L'assise sous-épidermique externe a presque partout deux rangs de cellules. La plus grande partie est occupée par des cellules grêles,

à parois très minces, peu colorées, réunies en une grande plage. Les cellules extérieures de la saillie bractéale sont les cellules épidermiques dorsales signalées sur *f* 1.

Dans la bractée *f* 3, les quelques grandes cellules restantes sont dans la partie dorsale du bord gauche. Le tissu faiblement coloré à cellules plus grêles qui doit remplir les contours de *f* 3 et *f* 4 est déchiré. On le voit au contraire bien caractérisé dans la bractée *f* 5. On le retrouve aussi dans *f* 6 et dans *f* 7. On voit ainsi que la surface de l'axe présente ordinairement :

Un épiderme qui est celui de la région dorsale des bractées ;

Une assise sous-épidermique d'environ 1 à 2 rangs de cellules 5-6 gones de la taille des cellules épidermiques.

Il n'y a pas de paquets fibreux.

Dans les parties les plus saillantes de la surface on voit en outre un parenchyme à éléments assez grêles, 4-6 gones, à parois très fines, faiblement coloré. Par places, dans les parties marginales des bractées en séparation, on peut rencontrer quelques grosses cellules colorées entre ce parenchyme clair et l'assise sous-épidermique.

Comme d'habitude, le reste de la section transverse de l'axe du bourgeon femelle montre :

Une région médullaire centrale ;

Une couronne libéroligneuse d'où partent des traces foliaires ;

Une couche corticale traversée obliquement par des traces foliaires.

La masse médullaire (fig. 37, pl. 5) est très nettement grêle dans B 193, c 13 et B 193, c 6. Elle est différenciée en deux zones, une zone intérieure plus colorée, une zone externe plus claire. La zone intérieure est composée de cellules qui paraissent inégales, certaines sont très grandes, à parois colorées. Les autres sont petites à parois claires. Les parois sont minces. Les cellules sont arrondies, laissant entre elles des méats. La zone périphérique médullaire comprend 4 à 5 rangs de cellules moyennes, sensiblement de même taille, hexagones ou légèrement arrondies par la présence de petits méats. Les parois cellulaires sont très minces et très claires, d'où une zone de bordure très claire attachant la moelle aux faisceaux.

La couronne libéroligneuse comprend une dizaine de masses réparatrices isolées, séparées soit par des rayons, soit par des

traces foliaires sortantes, la succession peut en être représentée par le diagramme suivant :

$$\begin{array}{ccccccccccc} f_1 & s & & & & ? & & & f_1 \\ R-R & | & R-R & s & R & s & R-R & | & R & s & R-R \end{array}$$

où chacune des lettres R correspond à une masse réparatrice moyenne,
 R correspond à une grosse masse réparatrice,
 où chacune des lettres s correspond à une trace sortante,
 f_1 est la trace foliaire de la bractée de même désignation.

Le trait vertical placé en dessus de s indique que la sortie de la couronne commence, le même trait placé en dessous de s indique que la sortie est faite mais que le rayon n'est pas refermé.

Le trait horizontal placé entre deux masses réparatrices indique que les deux masses réparatrices sont réunies l'une à l'autre par quelques éléments libéroligneux.

La grande indépendance relative des masses libéroligneuses de la couronne n'est peut-être que l'effet de la région où la coupe a été prise. Il suffit que celle-ci soit prise assez près du sommet du bourgeon.

L'obliquité très grande des sorties foliaires ne permet pas de voir le détail de leur structure ni de déterminer ce qu'elles ont encore comme éléments ligneux primaires à différenciation centripète.

Chaque massif réparateur comprend un îlot irrégulier d'éléments ligneux contigus assez larges, à contour polygonal, à parois couvertes d'épaississements spiralés très fins. De cet îlot partent, vers l'extérieur, 2 à 4 groupes rayonnants de fibres ligneuses secondaires. Celles-ci sont très étroites. Il y a de 1 à 3 files contiguës de ces fibres secondaires. Chaque file comptant de 3 à 6 fibres ligneuses. Un groupe de files étant séparé de ses voisins du même groupe par une rangée de cellules plus grandes étirées radialement, à parois très minces, presque incolores.

La zone cambiale et le liber sont abîmés. Vers l'extérieur les éléments du liber sont grêles, inégaux, à parois très minces. La conservation n'est pas suffisante pour voir nettement les autres caractères. Je ne puis dire où passe exactement la limite entre le liber et la zone corticale. Il y a 8 à 10 éléments entre le bois et l'écorce.

La couche corticale profonde est épaisse d'environ 10 rangs.

Elle est formée de cellules arrondies inégales, beaucoup sont grandes, séparées des voisines par des méats unis en réseau. Leurs parois sont minces, peu colorées. *Il semble que ce soit le réseau méatique qui est coloré.* Exceptionnellement une cellule contient une masse brune.

La conservation du bourgeon B 193, c 6 est très mauvaise. Les tissus mous sont complètement détruits. Les tissus lignifiés et cutinisés ont seuls résisté, et encore partiellement. C'est une portion de squelette que présente cette préparation. La région médullaire y est *très étroite*, vide de tissu. La couronne libéro-ligneuse montre à peu près cinq groupes réparateurs dans sa partie gauche. Sa moitié droite est abîmée. Dans la partie gauche de l'écorce on voit des cordons sortants jalonnant nettement des spirales secondaires. Les plus internes de ces traces foliaires sont coupées presque transversalement, les plus externes sont coupées très obliquement ou même presque horizontalement.

En étudiant par comparaison le bourgeon B 193, c 8 on relève les différences suivantes :

1° Les bractées coupées dans leur partie libre présentent souvent des éléments fibreux épaissis à la face interne de leur couche sous-épidermique ventrale. Les nervures de la plupart d'entre elles sont abîmées, *avec éléments hypertrophiés recloisonnés dans la nervure et autour d'elle.*

2° Un grand nombre de bractées coupées vers le bas ont le milieu de leur face antérieure allongé en pédoncule.

3° L'axe du bourgeon, beaucoup plus large que dans B 193, c 13 (fig. 43, pl. 5), porte sur son contour un plus grand nombre de bractées, 16 au lieu de 7, et celles-ci se présentent sous deux aspects assez dissemblables. Il y a d'abord 10 saillies tectiformes plus ou moins largement attachées à l'axe par un pédoncule ventral très accusé, 9 d'entre elles ont leurs deux bords libres. Elles enferment dans leur contour une nervure coupée transversalement ou peu obliquement. Pour 4 d'entre elles, dont l'attache est plus large, la nervure chemine horizontalement en ondulant de la bractée dans la zone corticale profonde de l'axe. Pour cette première catégorie de bractées la structure de la région dorsale reste ce qu'elle est dans la partie inférieure de la bractée libre, l'épiderme dorsal cutinisé à cellules moyennes, assise sous-épidermique parenchymateuse *très distincte*, à élé-

ments plus grands, deux plaques fibreuses latérales *tendant à se rejoindre dans le plan médian de la bractée*, grandes cellules devant les plaques fibreuses et la nervure et dans la région dorsale de la nervure. Les éléments à cellules plus petites à parois très minces et très peu colorées, qui ont été signalés de chaque côté et devant la nervure dans le bourgeon B 193, c 13, sont à peine différenciés ici. Sur le pédoncule et sur la face ventrale des ailes des saillies tectiformes, l'épiderme est à parois minces, à cloison extérieure bombée, d'où un aspect framboisé ou muriforme pour l'ensemble. L'assise sous-épidermique antérieure n'est plus différenciée. Il n'y a plus de fibres épaissies. Outre les saillies tectiformes le contour porte six saillies *très velues*, très inégales, les plus petites sont de simples élévations du contour. La plus grande est pédonculée, tectiforme, à bords libres, évidée en son milieu (fig. 44, pl. 5). Cet aspect a pu donner l'impression d'un ovule dans un examen très rapide. Ces saillies villeuses sont des coupes de l'extrême base des bractées. La structure de celles-ci est très modifiée. Dans la saillie évidée ou pseudo-ovule, on voit un épiderme dorsal à parois minces dont toutes les cellules sont prolongées en poils cylindriques, simples, cloisonnés transversalement, fortement ondulés. De là une villosité très abondante couvrant extérieurement cette partie des bractées. Vient ensuite une bande sous-épidermique épaisse de 4 à 6 rangs de cellules 5-6 gones plus grandes que les cellules épidermiques, moins grandes que les cellules intérieures. Cette bande sous-épidermique ne descend pas de chaque côté le long des flancs du pédoncule. Intérieurement il y a un parenchyme à grandes cellules isodiamétriques arrondies, épais de 4 à 5 rangs, largement évidé dans sa région intérieure (1). Dans le pédoncule on ne voit que l'épiderme à éléments plus grands et le tissu à grandes cellules qui s'alignent radialement en bas du pédoncule. Un faisceau coupé horizontalement part de la base du pédoncule et traverse en ondulant une partie de l'écorce. Dans la saillie de même nature qui est un peu à droite de celle-ci la partie dorsale très amoindrie est faiblement tectiforme. Le pédoncule est presque aussi large que la saillie. L'épiderme est villeux sur toute la surface. La couche sous-épidermique est très peu différenciée,

(1) Une pelote de pollen a été introduite dans cette cavité.

moins épaisse. Il n'y a plus que quelques grandes cellules intérieures dans la région dorsale, la nervure s'étend horizontalement de la saillie dans l'écorce profonde. Dans les petites saillies on voit un épiderme à petites cellules toutes prolongées en poils serrés figurant *comme des plaques ou un tissu extérieur*. Il n'y a plus d'assise sous-épidermique différenciée ni de grandes cellules intérieures, mais seulement une plage plus ou moins étendue d'un parenchyme à petites cellules polyédriques à parois très minces et très claires. Il n'y a plus de faisceaux en correspondance immédiate avec ces massifs.

En résumé, il y a donc, pour former le contour de l'axe de ce bourgeon : dix régions tectiformes ayant la structure de la partie dorsale des bractées libres, les flancs des pédoncules de ces bractées ont leur épiderme muriforme ; six saillies inégales à surface dorsale très villose. Dans l'une d'elles le tissu intérieur est différencié en plaque sous-épidermique dorsale et grandes cellules intérieures s'arrêtant à la base de son pédoncule. Aux autres correspond une plage de parenchyme clair à petites cellules non alignées.

4° La région corticale profonde très épaisse est un parenchyme qui paraît aligné radialement dans son ensemble par les nombreux cordons sortants qui le traversent. Il est composé de grandes cellules inégales séparées entre elles par de plus petites cellules. Tous les éléments sont plus gros vers l'extérieur, plus petits vers le liber.

5° La région médullaire est *très large*, différenciée en deux zones, une zone centrale à petites cellules arrondies avec méats et une couche périphérique épaisse de 5 à 6 rangs, à cellules inégales, les unes plus grosses, elliptiques, marquant une sorte d'alignement tangentiel, les autres plus petites remplissant l'intervalle des grandes.

6° Dans la couronne libéroligneuse on *entrevoit* environ 14 masses réparatrices dont 3 sont doubles. Il y a 12 indications de cordons sortants séparant ces masses. La masse réparatrice comprend un groupe intérieur de gros éléments lignifiés et finement spiralés. *Ils sont alignés* radialement. Les fibres ligneuses secondaires plus étroites sont au nombre de 5 à 6 dans chaque file. Le parenchyme qui sépare les files de fibres secondaires peut s'avancer un peu entre les gros éléments ligneux.

La configuration de l'écaille bractéale à ses divers niveaux et sa structure

Tandis que nous manquions de documents pour étudier la structure de l'axe de l'inflorescence femelle, les documents abondent quand il s'agit de *certaines bractées*. Les coupes transverses des bractées sont nombreuses et faites à des hauteurs variées, pour la *bractée voisine du sommet*. On est déjà moins heureux pour les *bractées inférieures* des bourgeons qui sont coupées seulement *dans leur extrémité supérieure près de leur pointe*.

La section transverse *moyenne* de la bractée (fig. 40, pl. 5) est une lame triangulaire tectiforme, à moitiés symétriques par rapport à la droite Cf'' qui unit le centre de figure du bourgeon à son unique nervure. Le rapport de la largeur de la bractée à son épaisseur est d'environ 8,5. La face postérieure, convexe en dehors, présente deux pans inclinés d'environ 70° à 73° sur la ligne Cf'' . — La face antérieure, très faiblement ondulée, d'une venue, est légèrement concave dans son ensemble; sa région médiane est souvent déprimée en son milieu tandis que sur d'autres écailles bractéales cette région médiane est au contraire légèrement convexe. Les bords sont généralement un peu contractés, amincis, faiblement incurvés, concaves en arrière, convexes en avant pour les bractées extérieures; au contraire convexes en dehors, concaves en avant et nettement dans le prolongement des pans postérieurs pour les bractées internes. — On remarque aussi une tendance à séparer la crête postérieure des pans voisins par des dépressions ou légers sillons. En s'accusant pendant la contraction de la bractée, ces sillons soulignent la saillie de sa crête médiane postérieure.

Cette configuration moyenne se retrouve sur les bractées pendant les quatre ou cinq tours moyens de l'hélice génératrice des coupes sus-apicales.

Il semble que les bords des bractées soient chargés de poils étirés horizontalement par l'écartement tangentiel des bractées (1).

La coupe transverse moyenne de l'écaille bractéale montre les régions suivantes (fig. 40, pl. 5) :

(1) Bractées non contractées de l'angle antérieur droit B 193, c 15, fig. 4, pl. 1.

Une nervure identique à une nervure de feuille végétative de Cordaïte prise dans la région supérieure de cette feuille ;

Une assise épidermique externe, postérieure ou dorsale ;

Une assise épidermique interne, antérieure ou ventrale ;

Une couche sous-épidermique externe dorsale ;

Une assise sous-épidermique interne ventrale ;

Deux lames fibreuses symétriques appliquées contre l'assise sous-épidermique externe ;

Le tissu de remplissage à grandes cellules qui unit la nervure aux deux faces de la bractée et aux lames scléreuses. Dans quelques-unes comme celle qui a été figurée, il y a devant la nervure et sur les côtés une différenciation de ce tissu de remplissage qui produit des cellules plus petites à parois minces très peu colorées.

L'unique nervure de la bractée est à peu près également distante de ses deux faces ou un peu plus rapprochée de la face antérieure. Elle consiste en un faisceau unipolaire diploxylé très réduit rattaché à une gaine casparyenne (fig. 41, pl. 5). Le bois primaire comprend une trachée initiale qui marque le pôle ligneux. Parfois une seconde trachée, contiguë à la première, est placée entre elle et la face antérieure de la bractée. Viennent ensuite trois ou quatre tubes ligneux à section polygonale relativement grands, scalariformes, formant une petite masse étalée devant les trachées. C'est le bois primaire à différenciation centripète ou antérieure. Le bois secondaire forme une mince bande tangentielle de trois à cinq fibres ligneuses secondaires très grêles placées sur un rang, rattachées au pôle et aux éléments centripètes par des fibres primitives. C'est l'opposition bien connue du bois secondaire centrifuge si particulier des Cordaïtes à leur bois primaire centripète à gros éléments. La zone cambiale externe, le liber secondaire et la lame de liber primaire écrasé sont ordinairement réduits à une mince lame contractée décollée de la gaine casparyenne. — Les éléments latéraux qui attachent antérieurement et latéralement le bois à la gaine casparyenne sont ordinairement détruits.

La gaine casparyenne est formée de cellules ellipsoïdes assez grandes, plus grosses en arrière, entourant complètement la nervure. L'individualité de cette gaine est très accusée et elle se conserve très haut dans la bractée.

L'épiderme externe a des cellules à parois légèrement épaissies. Elles sont rectangulaires, quand on les voit de face, allongées dans le sens de la longueur de l'organe. Leur section transversale est assez grande, carrée très nette. La couche cuticulaire est assez épaisse. Les cellules diminuent de calibre vers les bords.

L'épiderme interne a des cellules qui sont également rectangulaires quand on les voit de face. Elles sont de plus petit calibre que celles de l'épiderme postérieur. Elles diminuent de calibre vers les bords de la bractée.

Il semble bien que les deux faces des bractées ont pu porter des poils. Ce sont de longs poils ondulés, aplatis par contraction, simples, à *base étranglée*. Sur la figure 23, pl. 3, tirée de B 193, c 4, on voit ces poils fixés sur les faces contiguës de deux bractées successives, de sorte que si l'une des faces est face supérieure d'une bractée, l'autre face pilifère est certainement face inférieure de la bractée suivante. Sur la figure 4, pl. 1, les bords des bractées sont manifestement chargés de poils étirés.

On voit très souvent une assise de cellules polygonales à parois aussi épaisses que les cellules épidermiques externes au contact même de cette assise épidermique. Elle se suit très loin sur les deux pans postérieurs. Elle paraît se doubler dans le voisinage de la ligne de symétrie.

C'est contre cette assise sous-épidermique que s'appliquent les grandes lames fibreuses mécaniques signalées à droite et à gauche de la nervure. Chaque plaque est formée de fibres à section transversale polygonale à épaississement en couronne avec lumière centrale. L'épaississement est décollé de la lame mitoyenne. Chaque lame fibreuse est une plaque appliquée contre le pan postérieur correspondant. Épaisse vers la nervure, elle s'amincit en gagnant le bord où elle conserve encore deux rangs de fibres.

L'épiderme supérieur paraît aussi tapissé d'une couche de petites cellules sous-épidermiques à section transversale polygonale. — Intérieurement il y aurait par place un second rang, peut-être même quelques fibres épaissies. Il faudra contrôler ce point sur de meilleures préparations. Le fait est bien certain pour le bourgeon B 193, c 8.

Le reste de la bractée est comblé de grandes cellules à parois minces. On les trouve particulièrement grandes entre la nervure et les plaques fibreuses postérieures, entre les plaques et les tis-

sus sous-épidermiques antérieurs (1). — Ces cellules indifférentes diminuent de taille vers les bords de la bractée. — Enfin, entre la nervure et la face antérieure, entre la nervure et la crête postérieure, il y a un tissu de cellules plus grêles à parois très minces, très peu colorées. — Cette distribution des tissus mous dans l'intérieur de la bractée explique le facies spécial de la bractée fortement contractée. Dans la bractée contractée la nervure est serrée entre une crête postérieure fortement saillante et une crête antérieure beaucoup plus petite. Ce massif médian est lié latéralement par deux lames très minces à des plaques fibreuses postérieures qui semblent séparées de la crête médiane par un profond sillon.

Pour obtenir la structure du bas de la partie libre de la bractée, il faut s'adresser aux bractées les plus intérieures des coupes sous-apicales et à quelques-unes seulement des bractées plus intérieures des coupes sus-apicales, mais en même temps on doit se rappeler que ces bractées plus intérieures sont plus jeunes et insérées plus haut dans le bourgeon. On constate ainsi que la structure de la bractée se conserve tant que sa face antérieure ne s'attache pas à l'axe du bourgeon. Vers le niveau de cette attache, les fibres épaissies antérieures disparaissent, l'assise sous-épidermique ventrale ne se différencie pas. Les cellules épidermiques ventrales bombent leur paroi externe. Le parenchyme clair à petites cellules voisin de la nervure se développe davantage. La nervure devient oblique.

Vers l'extérieur du bourgeon, et par suite *sur des sections transverses prises de plus en plus haut dans des bractées de plus en plus avancées dans leur développement*, on constate que la bractée se rétrécit et elle tend à prendre un sillon antérieur médian. Exemple : les bractées extérieures du bourgeon B 193, c 15 (fig. 1, pl. 1). Plus haut encore, comme dans les bractées externes du bourgeon B 193, c 3 (fig. 9, pl. 2), la section de la bractée devient tétragone avec une crête antérieure nette mais petite opposée à une crête postérieure plus grande, les expansions latérales de la feuille sont réduites. Le rapport de la largeur de la bractée à son épaisseur se réduit et tombe à 2,3 (fig. 14, pl. 2).

(1) Dans les bractées de la préparation B 193, c 8, les cellules indifférentes sont hypertrophiques et recloisonnées comme si elles isolaient une nervure sacrifiée.

Même dans cette région, la nervure conserve son caractère de faisceau unipolaire diploxyllé et sa gaine casparyenne. Les grandes cellules fondamentales ont disparu. Les plages fibreuses postérieures se sont réduites en épaisseur. Elles sont réunies derrière la nervure. Les tissus sous-épidermiques signalés sur la section moyenne se sont réduits également. C'est de la même façon que se présentent les bractées frappées d'atrophie pendant le développement des bourgeons qui sont coupées plus ou moins près de leur pointe. Exemple : le bourgeon B 193, c 14 (fig. 31, pl. 4).

Dans les coupes de bractées jeunes taillées assez haut, comme les bractées du *Cordaïanthus Zeilleri* intérieures aux ovules, on voit une crête postérieure très saillante, une crête antérieure nette, moins saillante, deux lames latérales légèrement courbées en avant. Le rapport de la largeur à l'épaisseur est environ 1,5. Les tissus sont jeunes, incomplètement différenciés, les masses plasmiqiques sont fortement colorées, presque aussi noires que celles des cellules ovulaires.

Les bractées atrophiées intercalées entre les autres, comme celles du bourgeon B 193, c 14, sont coupées relativement plus haut que leurs voisines.

LA FLEUR FEMELLE

La constitution de la fleur femelle et l'orientation de l'ovule dans le bourgeon

Les coupes transverses des bourgeons femelles dont je donne les figures présentent la fleur femelle des Cordaïtes comme une fleur très probablement axillaire réduite à son appareil femelle. Celui-ci est ou sessile ou inséré sur un pédoncule très court qui paraît nu, sans bractéoles. J'ai insisté déjà sur ce point.

L'axe secondaire support de l'appareil femelle est insensible sur les coupes longitudinales parallèles à la face antérieure de la bractée mère ou même exactement méridiennes dans le plan $f_a f_p$. B 193, c 0 (fig. 17, pl. 2), B 193, c 16 (fig. 28, pl. 4), B 193, c 17 (fig. 28, pl. 3). Il n'est pas visible non plus sur les sections transverses sous-apicales B 193, c 6, B 193, c 13 (fig. 36, pl. 5). Il ne peut donc s'agir que d'un axe encore extrêmement court. La préparation B 193, c 5 du *Cordaïanthus Williamsonsii* qui coupe presque

radialement l'ovule dans un plan très voisin de Cf_n indique une très petite saillie au-dessus de laquelle était placé l'ovule. La présence d'un axe secondaire est donc possible. Les préparations B 190, c 1, bourgeon n° 1, B 192, c 2, qui présentent des coupes obliques de corps comparables à des axes secondaires parlent dans le même sens. Mais j'ai déjà dit que le sexe de ces deux derniers bourgeons ne pouvait être constaté.

La fleur femelle ainsi réduite comprend une enveloppe plissée et un corps nucellaire parcheminé. Tous deux sont aplatis parallèlement à la face antérieure de la bractée. Sur la coupe transverse du bourgeon, l'enveloppe est un anneau lenticulaire plissé très épais, le nucelle est une mince lame plissée ou plus rarement un anneau lenticulaire très mince. L'ensemble est divisé en deux moitiés symétriques par le plan médian de la bractée Cf_n . Ce plan est celui que j'ai appelé GD dans la définition des genres des graines digones *isolées*, G étant situé du côté de la bractée mère, D du côté de l'axe de l'inflorescence. La moitié de l'anneau qui est voisine de la bractée est un peu plus grande et un peu plus bombée que celle qui est près de l'axe de l'inflorescence. Cette petite différence entre les deux faces G et D de l'enveloppe jeune s'efface totalement ou n'est plus sensible dans la graine mûre isolée.

A chaque extrémité de l'anneau on trouve un faisceau, ce sont les faisceaux tégumentaires $f_a f_p$ des graines développées. La différenciation libéroligneuse est déjà faite dans l'état que nous montrent les ovules du *Cordaïanthus Zeilleri* (fig. 2, pl. 1), même dans le plus jeune, celui de l'angle inférieur gauche. Les faisceaux $f_a f_p$ et l'axe de figure HM ou C_0 (1) du nucelle déterminent une surface qui est la surface de symétrie AC_0P des graines isolées. Par suite de la régularisation de la forme de celles-ci, la surface AC_0P paraît un plan perpendiculaire à GC_0D . Dans le cas d'un bourgeon comme celui du *Cordaïanthus Zeilleri* où le sens d'ascension de l'hélice est facilement reconnaissable, je place P au bord inférieur de l'anneau tégumentaire et A à son bord supérieur. La graine cordiforme et aplatie avait son plan AP parallèle à la face interne de la bractée.

Dans les ovules développés du *Cordaïanthus Zeilleri* le rapport

(1) HM, abréviation de axe hilomicropylaire, C_0 , axe de l'ovule isolé.

de la largeur à l'épaisseur est de 1,7 à 2,0. Ce rapport s'élève à 3,2 pour l'ovule atrophié.

La structure de l'ovule

Les coupes dominantes de l'appareil femelle sont des coupes transverses de l'enveloppe passant entre le dôme tégumentaire et le sommet du nucelle rétracté. Dans la plupart l'ovule ne montre donc pas le nucelle. Un petit nombre de coupes inférieures aux premières rencontrent le nucelle à diverses hauteurs, ici dans le bec nucellaire B 193, c 2 (fig. 15, pl. 2), B 193, c 13 (fig. 36, pl. 5), ailleurs dans le sac nucellaire. *Une seule coupe* presque radiale, voisine du plan Cf_r , nous éclaire sur la structure de l'ovule dans ce plan (fig. 20, pl. 3). Trois coupes, B 193, c 0 (fig. 17, pl. 2), B 193, c 16 (fig. 28, pl. 4), B 193, c 17 (fig. 26, pl. 3), passant par les faisceaux $f_a f_p$, nous donnent quelques indications sur la structure de l'ovule dans le plan AP.

Une seule coupe montre la structure du dôme tégumentaire de l'ovule B 193, c 3 ovule antérieur gauche (fig. 10, pl. 2).

Plusieurs ovules, les plus externes, ou des ovules atrophiés, sont coupés dans leurs lobes collecteurs, B 193, c 14 (fig. 31, pl. 4).

Tels sont les documents qui nous renseignent sur la structure de l'ovule.

Sur des sections transverses moyennes, telles que celles du *Cordaianthus Zeilleri*, le tégument est un anneau dont les tissus voisins de la face interne sont déchirés par le retrait. Ses faisceaux $f_a f_r$ sont mis à nu. La rupture s'est faite devant les faisceaux aux deux extrémités du diamètre AP. Les tissus intérieurs rompus et contractés ont été ramenés vers le milieu des deux arcs de l'anneau tégumentaire. Elles y forment un revêtement noir sous forme d'une lame ondulée ou bilobée adhérente à la partie externe de l'enveloppe, tels sont l'ovule antérieur gauche et l'ovule postérieur droit de B 193, c 15 (fig. 2, pl. 1). Cette lame intérieure peut être rompue en deux massifs sans cesser d'adhérer nettement à la partie externe du tégument, comme dans l'ovule antérieur droit. — Quand il est moins contracté, ce tissu intérieur se décolle tout de même des faisceaux $f_a f_p$ et il forme une mince lame continue à l'intérieur de la zone externe. Voir l'ovule postérieur gauche de B 193, c 15. Dans l'ovule

antérieur gauche du bourgeon B 193, c 12, on saisit en quelque sorte la préparation des faits que je viens de relater. Les tissus voisins de la face interne du tégument sont déchirés aux extrémités intérieures du diamètre $f_a f_p$, mais ces tissus sont ici moins rétractés. On les voit *contre la cavité séminale, limités par un épiderme intérieur* sur chacune des faces bractéale et axiale de l'ovule (fig. 7, pl. 1).

L'anneau tégumentaire présente à sa surface externe des plis qui me semblent dus à la contraction. Sur la face D de l'anneau, celle qui est la plus voisine de l'axe de l'inflorescence, il y a généralement un sillon médian étroit et profond séparant deux fortes bosses saillantes. Près des bords A et P deux larges sillons peu profonds séparent les côtes saillantes des bords de l'anneau. — Sur la face postérieure de l'anneau, face G ou face bractéale, il y a souvent une forte côte médiane séparée des bords A et P par de larges sillons. Au lieu d'une côte médiane il peut y avoir trois côtes dont une médiane. Il s'ajoute un sillon de chaque côté de la côte médiane, entre elle et la côte latérale voisine plus petite. — Le contour intérieur de l'anneau tégumentaire reste toujours plus simple. Il est aussi lenticulaire, rompu du côté des bords, souvent creusé d'un sillon dans le plan GD.

L'anneau tégumentaire montre les régions suivantes :

Une assise épidermique externe palissadique ;

Une assise sous-épidermique ;

Une couche épaisse de tissu fondamental externe ;

Deux faisceaux tégumentaires $f_a f_p$;

Une lame contractée ordinairement rompue dans le plan AP. Les lambeaux de cette lame déchirée sont ordinairement plaqués sur le tissu fondamental externe de l'anneau dans le voisinage du plan GD. — Ces lames déchirées représentent la coque, la plaque thylaire et l'épiderme interne de l'anneau tégumentaire.

L'épiderme tégumentaire externe est formé de cellules palissadiques étroites perpendiculaires au contour extérieur du tégument. — En section parallèle à la surface, ou vues de l'extérieur, ce sont des cellules 5-6 gones isodiamétriques à parois minces. — En section horizontale ou en section méridienne, elles sont rectangulaires, allongées perpendiculairement à la surface, à cuticule épaisse, résistante, à parois latérales minces. Cet épi-

derme, déjà très résistant, est souvent décollé des tissus sous-jacents sur les ovules parvenus au degré de développement qu'on voit dans le bourgeon B 193, c 14 (fig. 32, pl. 4). La masse plas-mique contractée des cellules épidermiques est ordinairement noire *surcolorée*, surtout dans les ovules jeunes. Dans les ovules de B 193, c 14, *une décoloration ultérieure, qui a éclairci le proto-plasme, permet de voir le noyau de chaque cellule*. Il s'agit de noyaux lenticulaires, très petits, allongés dans l'axe même de la cellule (fig. 33, pl. 4).

L'assise sous-épidermique comprend un à deux rangs de cellules polygonales isodiamétriques sur la section transverse, carrées ou rectangulaires sur la section méridienne. Leurs parois sont minces. Leur contenu plasmique surcoloré et contracté est noir.

Le reste du tissu fondamental extérieur à la coque forme une couche épaisse de six à dix rangs. Les cellules sont polygonales isodiamétriques en section transverse, grandes, à parois minces. Sur les coupes méridiennes elles sont brièvement rectangulaires ou carrées, disposées en files longitudinales (fig. 30, pl. 4).

Quand l'ovule est au degré de développement des ovules antérieurs du bourgeon B 193, c 15 les tissus tégumentaires internes violemment contractés sont déchirés et les faisceaux $f_a f_p$ se trouvent mis à nu. Les tissus contractés sont ramassés en deux plaques contre les faces G et D. Ces tissus semblent alors des lames cornées, les organites cellulaires contractés et sur-colorés semblent contigus. Ils y sont encore séparés par des parois très minces. Par exception dans l'ovule antérieur gauche du bourgeon B 193, c 12 (fig. 7, pl. 1), ces tissus tégumentaires intérieurs se présentent étalés beaucoup moins contractés. Ils sont composés de cellules à parois minces, plus petites que les cellules fondamentales externes alignées tangentiellement. La différenciation en *coque* et *plaques thylaires* n'est pas encore faite. On voit seulement quatre îlots de cellules plus grosses situés symétriquement près des extrémités internes du diamètre $f_a f_p$. On constate aussi que les tissus tégumentaires internes sont limités par une assise épidermique interne à cellules rayonnantes très nettes.

Les faisceaux tégumentaires sont simples, continus, tangentiels sur la section transverse, réduits ordinairement à une mince lame d'éléments ligneux. Dans l'amas représenté (fig. 5, pl. 1),

ce sont surtout des trachées toutes de même calibre. Selon les tractions subies elles sont étalées ou ramassées en un tas. Le liber est habituellement détruit.

Sur ces coupes transverses moyennes *on ne voit pas de tégument intérieur.*

Dans les ovules tout jeunes comme l'ovule postérieur gauche du bourgeon B 193, c 15 ou encore l'ovule antérieur droit de B 193, c 12 on constate que l'épiderme externe et les faisceaux sont toujours bien différenciés. Les éléments fondamentaux beaucoup plus uniformes sont surcolorés. Leur masse plasmique est relativement plus grosse. La couche profonde du tissu fondamental paraît plus mince, elle forme une lame mince plus souvent continue à la face interne de l'anneau tégumentaire. *Il n'y a pas non plus de tégument interne. On voit ici que l'argument tiré de l'extrême jeunesse des tissus s'opposant à la conservation n'est pas acceptable.*

Dans les coupes transverses plus inférieures de l'ovule l'anneau tégumentaire contient la section du corps nucellaire coupé à diverses hauteurs; B 193, c 2 (fig. 15, pl. 2) montre le nucelle coupé dans le haut de son bec. Dans la préparation B 193, c 13 l'ovule postérieur est coupé au niveau du bas de son bec nucellaire tout contre la cavité de la chambre pollinique (fig. 39, pl. 5).

La structure du tégument diffère peu de la description que j'en ai donnée plus haut. Les éléments fondamentaux externes sont plus petits, plus jeunes, la lame contractée intérieure est plus mince, plus continue, les faisceaux f_a, f_p ont leurs éléments trachéens caractérisés.

Le nucelle (fig. 16, pl. 1) est représenté par un anneau de cellules épidermiques tordues. Ces éléments ont la forme de troncs de pyramide allongés, leur face externe, bombée en dehors, fortement cutinisée, est plus large. Leur face interne est aussi bombée mais vers l'intérieur. Elle est libre, plus petite que la face externe. Les faces latérales sont des quadrilatères allongés, à côtés curvilignes, tous courbés dans le même sens. Selon l'intensité de la torsion le canal laissé entre les faces internes est plus ou moins ouvert. Quand la cellule épidermique devient turgescence sa courbure est moindre, l'ouverture du tube du bec nucellaire est élargie. La figure 39, pl. 5, montre que vers le bas du bec nucellaire ces éléments épidermiques sont plus

grands. Ces diverses indications sont contrôlées par la coupe méridienne du bec nucellaire (fig. 27, pl. 3).

Dans le bourgeon B 193, c 1 (fig. 35, pl. 4) l'ovule antérieur est coupé au niveau de la région sacculaire du nucelle. Il en est de même de l'ovule antérieur de B 193, c 13 (fig. 36, pl. 5). Les faces opposées du sac nucellaire contracté sont rapprochées au contact en une membrane papyracée où il ne m'a pas été possible de mettre en évidence l'épiderme et les faisceaux. Il n'y a pas de tégument intérieur distinct. Le tégument unique a la même structure qu'au niveau précédent.

La section transverse dans le haut du dôme ovulaire (fig. 11, 12, pl. 2), d'après l'ovule antérieur gauche du bourgeon B 193, c 3, montre les faits suivants :

Un épiderme externe palissadique très caractérisé. La paroi externe est fortement cutinisée, épaissie. Les parois latérales sont minces. Ces éléments diminuent de taille en s'approchant du sillon séparateur des lobes du dôme : contre le sillon même, elles sont beaucoup plus petites. On a l'impression d'un tissu dont les cellules grandiront peut-être mais qui se diviseront fort peu, leur période de jeunesse est passée. On voit ces cellules de face (fig. 13, pl. 2), d'après un lambeau pris sur la région dorsale du lobe postérieur.

Il ne semble pas y avoir d'assise sous-épidermique caractérisée.

Le tissu fondamental extérieur au faisceau est épais de six rangs. Il est formé de grosses cellules ovoïdes rayonnantes dans la région dorsale. Les cellules diminuent de taille sur les flancs. Elles deviennent petites et sphériques le long du sillon séparateur. Ces éléments semblent aussi avoir acquis leurs caractères définitifs. Sur le flanc droit du lobe antérieur la section entame le dôme plus profondément. On voit alors que les éléments fondamentaux sont à un autre état. Ils sont plus jeunes, à paroi très mince, à protoplastes contractés et surcolorés. La caractérisation des tissus, très avancée vers le sommet du dôme, est bien moins avancée dès qu'on s'en éloigne. Les coupes méridiennes confirmeront cette impression.

Dans la déchirure du tissu fondamental on voit un faisceau simple, continu, représenté par une ligne tangentielle de trachées extrêmement grêles.

Les sections transverses plus élevées coupent l'ovule dans la

portion que j'ai dû attribuer aux collecteurs. Selon le niveau, les lobes collecteurs sont de simples lames pliées en gouttière légèrement carénées, à bords aplatis libres. Plus bas, les bords sont en contact avec leurs symétriques et parfois, semble-t-il, coalescents. La figure 8, pl. 1, semble bien établir cette coalescence. On la voit se reproduire dans les bourgeons B 193, c 1 et B 193, c 2. Cependant la coupe de l'ovule dans le haut du dôme indique aussi que les lobes du dôme étaient distincts sur la face bractéale (fig. 10, pl. 2).

Lorsque les lobes sont indépendants, comme dans la figure 14, pl. 2, le lobe comprend :

Un épiderme externe à cellules plates, à protoplastes surcolorés ;

Un épiderme interne également à cellules plates plus petites ;

Un faisceau extrêmement grêle avec une ou deux trachées très fines ;

Quelques éléments de tissu fondamental à parois minces.

Cette structure se conserve alors que le tube se ferme.

La section méridienne minima de l'ovule (section GD de la graine mûre isolée) apprend qu'il y a peut-être un pédoncule ovulaire très court ne tenant à l'ovule que par une région très restreinte. Sur la figure 19, pl. 2, l'ovule paraît détaché et complètement libre, ce qui peut être le fait d'une rupture transverse due à la contraction, mais on sait par la graine mûre que l'insertion est très étroite. Le tégument épais se prolonge vers le haut par des tissus plus avancés. Dans le fond de l'ovule on voit deux grandes cavités. Ce sont les *bothrions* des *Diplotesta*. A cette période du développement les *bothrions* sont relativement énormes et paraissent monter très haut. Les *bothrions* sont séparés du fond de la cavité séminale par une lame mince et de l'extérieur, vers le bas de l'ovule, par une lame également très mince. Les deux *bothrions* sont séparés l'un de l'autre par une lame dans l'épaisseur de laquelle monte le cordon vasculaire de l'ovule. C'est ce dispositif qui a donné à Renault l'impression d'un tégument intérieur très isolé du tégument externe dans le fond de l'ovule coalescent latéralement avec le tégument interne. On voit facilement sur le flanc axial de l'ovule qu'il s'agit d'une cavité dans l'épaisseur du tégument unique qui peut s'élever assez haut (fig. 21, pl. 3).

Le bas du nucelle est représenté par une région sacculaire limitée par une lame très mince, comme si le sac embryonnaire existait déjà et avait écrasé les tissus du bas du nucelle. Ce bas du nucelle est bien distinct du tégument. Plus haut les tissus du nucelle sont plus épais, à cellules non écrasées, nombreuses, fortement colorées. Puis le nucelle s'élargit brusquement en une sorte de bourrelet au-dessus duquel s'élève le cône nucellaire prolongé par le bec nucellaire. Le cône nucellaire contient la chambre pollinique. Dans le haut du cône et dans le bec nucellaire il n'y a qu'une bordure de grandes cellules épidermiques. Les plus grandes sont en bas du bec. Elles diminuent en s'élevant sur le bec. Vues par leur face externe elles sont hexagonales, étroites horizontalement, bien plus larges dans le méridien.

Sur la section B 193, c 16 (fig. 29, pl. 4) qui tranche l'ovule dans le plan de ses faisceaux tégumentaires (section méridienne maxima), on voit le dôme tégumentaire avec ses tissus plus hâtivement caractérisés. Il ne contient pas de paquets fibreux. Plus bas l'épiderme est moins nettement palissadique. Les éléments du tissu fondamental sont en files longitudinales régulières, à parois minces, à contenu surcoloré, indiquant un tissu jeune. Vers le bas, à droite, le faisceau tégumentaire présente le dispositif récurrent rhabdocarpie. Les tissus profonds du tégument sont déchirés et rétractés en deux plaques. Le nucelle ratatiné est ramassé au fond de la cavité séminale.

Comment doit-on lire l'appareil femelle ? — Jusqu'où les préparations de Renault permettent-elles cette lecture ?

Comment doit-on lire l'appareil femelle des Cordaïtes *Diplostesta*? Jusqu'où les documents rassemblés par Renault permettent-ils cette lecture? Telles sont les questions qui se posent de suite après les descriptions que j'ai données.

L'appareil femelle est-il, comme je l'ai admis depuis le début, un *ovule nu, orthotrope, unitégumenté*? — Renault, suivant Brongniart, admettait aussi un *ovule gymnosperme, orthotrope*, mais qui pouvait être *uni* ou *bitégumenté*. Il y voyait un ovule comparable à l'ovule de *Ginkgo biloba* à l'arille près.

Cet appareil femelle n'est-il pas un *ovaire bicarpellé, uniloculaire, contenant un ovule orthotrope réduit à son nucelle, l'ovule*

étant inséré au milieu du fond de la loge ovarienne? Ce mode de lecture aurait été celui de Payer et de Baillon. C'est ainsi que Baillon lisait l'organe femelle de l'If. Il implique l'angiospermie spéciale qu'ils ont acceptée pour les Cycadées, le Ginkgo, le Cephalotaxus, le nucelle étant largement adhérent à l'ovaire dans ces exemples.

L'*orthotropie* ne fait pas de doute d'après les coupes que j'ai présentées, qu'on prenne l'appareil femelle entier ou seulement sa région nucellaire centrale.

La solution un ovule gymnosperme orthotrope *bitégumenté* est écartée par la section transversale de l'ovule développé entre le dôme et le bec nucellaire (fig. 7, pl. 1). Les ovules atrophiés du bourgeon B 193, c 12 (fig. 15, pl. 2) *coupés plus bas que le précédent* n'ont également qu'un seul tégument. C'est la présence des bothrions caractéristiques des *Diplostesta* qui, sur une coupe presque radiale, très voisine du plan G D, fait paraître dédoublé le fond de l'ovule et a entraîné, pour une part, la conclusion de Renault « *ovule bitégumenté* ». L'autre motif de Renault, tiré de la complication de la structure de l'enveloppe séminale dans la graine développée, n'a pas de valeur, car d'une part on trouve un tégument unique mi-partie ligneux et mi-partie charnu aussi compliqué dans les graines de Cycas, Ginkgo, Cephalotaxus, et d'autre part, après recherche spéciale, j'ai pu constater que la double lame épidermique que Renault croyait exister à la limite du sarcotesta et de la coque de ces graines n'existait pas en réalité (1). — L'ovule jeune n'a pas plus montré cette double lame épidermique que la graine développée. — En acceptant un seul tégument, la singularité de position que Renault croyait observer pour les deux faisceaux tégumentaires $f_a f_p$, à la face interne du tégument extérieur, disparaît. Ces faisceaux placés sur le diamètre $f_a f_p$, aux extrémités des crêtes de la coque, *aux extrémités d'une ligne de rupture facile, déjà préparée*, sont mis à nu par les premières déchirures provoquées par le retrait.

Nous avons vu qu'il n'y a pas deux sortes d'ovules, les uns bi, les autres unitégumentés, *mais des ovules coupés les uns dans le plan G D, méridien minimum, les autres dans le plan $f_a f_p$,*

(1) Préparation 9517 = B 197, c 13, d'après la graine de *Cardiocrarpus orbicularis* (fig. 3, pl. VII). *Recherches sur les graines siliciées.*

parallèlement à la bractée, dans le méridien maximum. — La p'us grande variante rencontrée dans les bourgeons femelles est celle du bourgeon B 193, c 8 avec ses bases de bractées très velues et sa moelle large. Mais on ne sait même pas avec certitude si ce bourgeon est réellement femelle.

Les ovules bitégumentés étant écartés, nous nous trouvons en présence du problème de la Gymnospermie reporté aux plantes stéphanienues dans les termes mêmes où il s'est posé pour les plantes actuelles. Cycas, Ginkgo, Cephalotaxus, sont-elles des phanérogames gymnospermes, comme on l'admet depuis R. Brown? Sont-elles des Angiospermes à ovules réduits au nucelle, comme l'ont admis Payer, Baillon et leurs élèves? Les raisons pour et contre chaque mode de lecture n'ont pas rallié l'assentiment général et pourtant, à la longue, un accord s'est fait. On considère l'appareil femelle des Cycas, des Ginkgo et des Cephalotaxus comme des ovules nus. On accepte la Gymnospermie comme établie. *Elle s'est justifiée* en reconnaissant peu à peu que les plantes qui ont ces ovules se distinguent encore des Angiospermes par le groupement de leurs sacs polliniques, par la structure de leur pollen, par leurs corpuscules, etc., par la structure même de leur appareil végétatif bois et liber. De sorte que, sans avoir complètement répondu aux objections organogéniques de Payer et Baillon, qui voient deux carpelles bientôt coalescents dans le tégument naissant par deux bosses, on accepte que ces végétaux plus anciens, plus simples, n'avaient probablement pas d'ovaire et n'ont pas du tout les affinités que ces auteurs leur attribuaient par un artifice de classification.

Les matériaux de la collection Renault que j'ai figurés ne permettent pas une étude organogénique. Il y manque les premiers stades du développement de l'ovule. Ce sont précisément les plus importants quand il s'agit d'apprécier les rapports initiaux du corps nucellaire central et de son enveloppe, et par suite leur valeur morphologique réciproque. — Bien que relativement nombreuses, les coupes d'ovules atrophiés ne permettent pas de combler cette lacune. La plupart des ovules rencontrés étant déjà parvenus à un stade de développement avancé, l'état des lobes collecteurs par rapport à l'état du corps nucellaire ne permet pas de dire quels organes ont précédé les autres dans le temps. On ne sait pas davantage si le point de végétation de la

pousse axillaire qui a donné l'appareil femelle s'est arrêté pour produire les deux écailles connées de l'enveloppe tégumentaire, pour repartir ensuite et produire encore le nucelle. Il faudrait de nouvelles récoltes d'échantillons et une exploitation bien méthodique du matériel recueilli pour obtenir ce résultat.

Les matériaux de Renault permettent-ils d'employer la méthode des coupes successives, celle-ci pouvant être très étendue par l'examen d'ovules âgés coupés à diverses hauteurs et par des coupes faites à des niveaux homologues dans des ovules d'âges différents. Cette méthode n'exige qu'un peu d'habileté dans le choix et dans la lecture des coupes. Mais là encore nous sommes obligés de reconnaître que les coupes transverses existantes sont en quantité insuffisante. Les indications qu'elles donnent sont trop éloignées les unes des autres, de grosses erreurs peuvent se glisser dans les conséquences que nous baserions sur leur sériation.

D'après la graine développée, le nucelle en cône lenticulaire avec sa plaque chalazienne diaphragmatique représente une pousse nouvelle possédant un système vasculaire propre avec faisceaux nombreux disposés sur un rang. Jusqu'ici nous ne connaissons ni la structure, ni l'orientation de ces faisceaux. Cette pousse est très indépendante de son entourage enveloppant. Dans ce point de végétation nucellaire les tissus du sommet, l'épiderme, tissu fondamental sous-jacent, sont très rapidement en avance sur ceux de la base. L'épiderme se prolonge en bec, ses cellules prennent leur facies particulier définitif, le bec nucellaire s'ouvre. Le tissu fondamental sous-jacent *dissoct*e ses éléments et donne la chambre pollinique. Ces spécialisations sont déjà achevées alors que la région inférieure du nucelle a encore ses éléments en pleine segmentation. Physiologiquement ce nucelle agit comme celui des Cycadées. L'identification est acceptable, il est beaucoup plus libre, plus vascularisé, son insertion sur la crête hilaire est plus spécialisée.

D'après les coupes transverses de la graine développée, d'après les coupes du tégument ovulaire, et enfin d'après les coupes des lobes collecteurs, il semble permis de dire que le tégument des ovules de *Diplostema* représente morphologiquement *deux écailles foliaires, coalescentes par leurs bords*, PRÉCÉDANT L'INSERTION NUCELLAIRE. Ces caractères joints à la très grande indépendance du

nucelle par rapport à l'enveloppe sont des arguments très forts en faveur de l'interprétation de Payer. Sont-ils décisifs? Je ne le crois pas; pas plus qu'ils ne l'ont été chez les plantes actuelles.

D'autre part, je ne crois pas non plus qu'il soit permis d'invoquer l'insertion rhabdocarpienne des faisceaux tégumentaires $f_a f_p$, sur la plaque chalazienne pour dire, à l'encontre de l'indication précédente, que les deux moitiés de l'enveloppe de l'appareil femelle sont *des demi-bourrelets dépendant uniquement de la pousse nucellaire*. L'insertion rhabdocarpienne des faisceaux tégumentaires n'est manifestement qu'un cas particulier de la série *Cardiocarpus*, *Cycadinocarpus*, *Rhabdocarpus*, *Taxospermum*. L'émission du faisceau $f_a f_p$ est antérieure au tube préchalazien chez *Cardiocarpus*. Elle se fait dans le tube préchalazien et vers le bas de ce tube chez *Cycadinocarpus*. Elle monte jusqu'à la plaque chalazienne chez les genres rhabdocarpiens et chez *Taxospermum*. L'enveloppe tégumentaire paraît avoir partout la même valeur, qui est aussi celle de deux écailles connées issues du système vasculaire de la fleur avant la pousse nucellaire et sa plaque chalazienne. Pour conclure autrement chez les genres rhabdocarpiens, il faudrait déjà prouver directement que les cordons $f_a f_p$ ne sont pas déjà différenciés dans le canal préchalazien, comme Brongniart l'admettait implicitement quand il signalait le trajet récurrent de ces faisceaux dans le fond de la coque. Or les coupes de la collection Renault ne donnent pas ce renseignement. Comme on ne connaît pas davantage la structure détaillée des faisceaux $f_a f_p$, il est indiqué d'être très réservé dans les conclusions. Les plantes fossiles ayant les caractères rappelés à propos des Gymnospermes actuels, il convient de les placer près de ces Gymnospermes en laissant le problème de la gymnospermie comme une question à éclaircir.

Par rapport aux plantes actuelles auxquelles Renault et Brongniart comparaient volontiers les graines des Cordaïtes, c'est-à-dire *Ginkgo* et *Taxus*, les ovules des bourgeons femelles de Grand-Croix offrent une particularité: c'est la présence de deux prolongements collecteurs en gouttière au sommet du dôme. Le tégument intervenait donc dans la récolte du pollen à la manière d'une gouttière conductrice. Si ce caractère fait défaut chez nos Conifères et chez nos Cycadées, il se voit chez les *Ephedra* et le *Welwitschia* où le micropyle se prolonge en tube

terminé par deux languettes collectrices ou par un pavillon-entonnoir collecteur. La collection du pollen n'est donc pas impossible pour les ovules. On sait que l'ovule de *Gnetopsis elliptica* était particulièrement armé sous ce rapport.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Il n'a été trouvé que des inflorescences en grappes simples dans les 18 bourgeons femelles préparés par B. Renault.

Les fleurs femelles y sont latérales. Exceptionnellement, par suite d'une légère déviation de la coupe, la fleur femelle paraît terminale.

La fleur femelle est nue, sans périanthe et sans bractéoles.

L'appareil femelle est un ovule nu, orthotrope unitégumenté comme celui de nos Gymnospermes.

Le nucelle, très indépendant du tégument, représente une pousse nouvelle ayant à sa base une plaque chalazienne d'où part la vascularisation du nucelle.

Le tégument a la valeur de deux écailles foliaires coalescentes par leurs bords. Il possède deux faisceaux symétriques placés dans un plan AP parallèle à la bractée, contre la coque, en dehors de celle-ci, et à l'extrémité de ses deux lignes de déhiscence. Les tissus intérieurs du tégument, qui correspondent à la coque, aux plaques thylaires et à l'épiderme interne de la graine développée, sont contractés. Les déchirures qui se font dans le plan AP mettent à nu les faisceaux tégumentaires f_a, f_p .

L'ovule a un plan de symétrie qui coïncide avec le plan GD de la graine développée et avec celui de la bractée mère. On peut dire qu'il y a une seconde surface de symétrie f_a, C, f_p passant par les faisceaux tégumentaires et l'axe hilomicropylaire. Les deux moitiés qu'elle détermine dans l'ovule ne sont pas tout à fait égales. La moitié bractéale étant plus forte que la moitié ventrale ou axiale D. Cette différence s'efface pendant le développement de la graine.

Les faisceaux tégumentaires f_a, f_p s'insèrent sur la plaque chalazienne selon le mode rhabdocarpique, c'est-à-dire que leur portion initiale traverse d'abord la coque de dedans en dehors.

Le dôme ovulaire se continue par deux prolongements collecteurs pliés en gouttière.

La caractérisation définitive des régions supérieures du téguement et du nucelle se faisait de bonne heure, alors que les portions inférieures étaient encore en pleine multiplication cellulaire.

Les tissus jeunes des ovules sont fortement *surcolorés* à protoplasmes fortement contractés. Dans les cellules plus âgées le protoplasme *fixé* reste collé à la paroi comme une lame mince. Par une décoloration graduée le noyau y est rendu visible.

Ces ovules ont un épiderme rhabdocarpien et pas de paquets fibreux. Ils ont deux bothrions, cavités creusées dans la base de l'ovule et situées dans le plan GD. Ces caractères permettent de rapporter les ovules au genre *Diplotesta*, à l'exclusion des *Rhabdocarpus* et des *Cyclocarpus*. Ce sont les bothrions qui ont fait croire à l'existence d'ovules bitégumentés.

Les bourgeons femelles des *Diplotesta* contiennent souvent des ovules atrophiés. Le dégagement des ovules était successif, se faisant de bas en haut, ce qui semble indiquer que la pollinisation devait avoir une certaine durée.

Il reste beaucoup à faire pour compléter nos connaissances sur ces ovules. La question de la Gymnospermie reste entière.

Nous connaissons à peu près la structure de la bractée, nous n'avons qu'une première indication sur la structure de l'axe de l'inflorescence.

EXPLICATION DES FIGURES

PLANCHE I

Le *Cordaianthus Zeilleri* BR, fig. 1 à 5. — Le bourgeon B 193, c 12, fig. 6 et 7.
Deux collecteurs, fig. 8.

FIG. 1. — Section transverse d'un bourgeon femelle présentée dans sa position de dépôt. — Préparation B 193, c 15. *Cordaianthus Zeilleri* BR. Original de la fig. 13, pl. 17. *Structure comparée*, etc. Gr. 11.

Le bourgeon contient quatre ovules développés et un cinquième atrophié. Les quatre ovules développés sont insérés sur une hélice ascendante qui paraît dextre pour un observateur central. Il y a encore onze écailles bractéales entre les ovules et le sommet.

FIG. 2. — La région centrale du même bourgeon. Gr. 25.

O₁, O₂, O₃, O₄. Les quatre ovules développés sont coupés entre leur dôme tégumentaire et leur bec nucellaire.

O₅. L'ovule atrophié est coupé dans le haut de son nucelle.

Le dispositif *alnién* des bractées (et bractéoles?) qui paraît réalisé pour les ovules O₁, O₂, O₄, se trouve en défaut, par manque des deux bractéoles, près de l'ovule O₃. Il n'y a pas de bractéoles *alniennes* près de l'ovule O₅. On remarquera le déplacement de l'ovule atrophié par rapport à sa bractée.

Les onze corps intercalés entre ce cinquième ovule et le sommet sont-ils tous des écailles? N'y a-t-il pas parmi eux d'autres ovules atrophiés non reconnus? On remarquera la très grande difficulté de placer ces onze pièces sur une même hélice.

On voit un feutrage de poils contractés entre les écailles supérieures.

FIG. 3. — Les sections transverses de l'ovule antérieur gauche O₁ et de l'ovule atrophié O₅. — Une partie de l'ovule postérieur gauche O₄ et une partie des écailles apicales. Gr. 33,5.

La section de l'ovule O₁ montre les faisceaux tégumentaires f_a , f_p mis à nu par la rupture des tissus tégumentaires intérieurs (1).

f_a . Faisceau tégumentaire du côté A de l'ovule;

f_p . Faisceau tégumentaire du côté P de l'ovule;

$tf. ex.$ Tissu fondamental externe du tégument.

Les tissus tégumentaires intérieurs fortement contractés sont ramassés en deux plaques foncées, bilobées au milieu de la face interne des flancs G et D du tégument. G, côté bractéal de l'anneau tégumentaire, D, côté axial de cet anneau.

On remarquera l'opposition d'aspect du tissu fondamental tégumentaire externe dans les ovules O₁ et O₅. Les protoplastes, encore très jeunes dans

(1) Renault caractérisait cet état en disant : *Faisceaux circulant à la face interne du tégument extérieur.*

ce dernier, sont moins écartés des parois et surcolorés. Les plis typés de la surface de l'ovule provoqués par la contraction sont à voir sur l'ovule O_1 , fig. 2.

La section transverse de l'ovule atrophié O_2 montre le sac nucellaire sous la forme d'un anneau dont les faces G et D sont rapprochées au contact. Remarquer la configuration et les crêtes A et P de l'anneau tégumentaire.

FIG. 4. — La section transverse de l'ovule antérieur droit O_2 . État de développement analogue à O_1 , un peu moins avancé. Section un peu plus élevée. Gr. 33,5.

La plaque des tissus tégumentaires intérieurs qui est du côté D est rompue en deux. La bosse saillante qui occupe habituellement le milieu de la face G contractée est ici très effacée. Les deux bosses de la face D sont au contraire très fortes.

FIG. 5. — La partie de la section transverse de l'ovule O_2 où se trouve le faisceau f_p mis à nu par la déchirure des tissus intérieurs. Gr. 120.

Les éléments trachéens déchirés sont ramassés en un paquet. Extérieurement, vers le haut de la figure et à droite des trachées, les éléments du tissu fondamental externe tégumentaire montrent chacun leur masse plasmique contractée et surcolorée entourée par une paroi mince.

FIG. 6. — Section transverse du bourgeon B 193, c 12. Elle montre trois ovules développés voisins du sommet. La section passe entre le dôme et le bec nucellaire pour l'ovule O_1 . Pour l'ovule O_2 , la coupe est très oblique et passe dans l'embouchure micropylaire. Il y a six bractées entre les ovules et le sommet du bourgeon.

A l'extérieur du bourgeon, en haut et à droite, la section transverse d'un appareil collecteur qui paraît déjà tubulaire.

En bas de la figure et au milieu, des sacs polliniques contenant des grains de pollen. Gr. 8.

FIG. 7. — La section transverse de l'ovule O_1 . Gr. 25.

Les tissus tégumentaires interne t/i sont bien rompus aux extrémités internes du diamètre AP. Les débris du faisceau $f_a f_p$ sont en effet libres dans les déchirures. Mais on voit ici que les tissus tégumentaires internes sont beaucoup moins rétractés sur les faces G et D. Chacune de ces plaques est limitée à l'intérieur par un épiderme interne rayonnant à grandes cellules. On voit aussi qu'il n'y a pas de double lame épidermique entre les tissus tégumentaires externes et les tissus tégumentaires internes.

FIG. 8. — Section transverse dans deux collecteurs extérieurs du bourgeon B 193, c 3. Gr. 33,5.

Dans le collecteur de gauche, les deux lobes pliés en gouttière ont leurs deux bords symétriques libres, facies bractéolaire. — Dans le collecteur de droite, les deux lobes sont unis bord à bord. On est dans le haut d'un ovule atrophié. On aperçoit le sommet de son bec nucellaire. En bas les sections transverses dans les pointes de trois bractées.

PLANCHE 2

Le bourgeon B 193, c 3, fig. 9 à 14. Le bourgeon B 193, c 2, fig. 15 et 16.
Le *Cordaianthus Grand'Euryi* BR, fig. 17 et 18.

FIG. 9. — Section transverse dans un bourgeon femelle présenté dans sa position de dépôt. Préparation B 193, c 3. Gr. 9,5.

Le bourgeon contient deux ovules développés, l'un O_1 , coupé dans le haut

de son dôme tégumentaire, l'autre, coupé entre le dôme tégumentaire et son nucelle. Sur le flanc droit du bourgeon, vers le haut et extérieurement aux bractées, on voit les sections de trois appareils collecteurs, col_2 , col_3 . Ce dernier représente un ovule effilé atrophié, très jeune.

Il n'y a que trois bractées entre le plus gros ovule et le sommet du bourgeon.

L'ensemble du bourgeon s'est légèrement affaissé sur l'ovule O_2 , d'où une sorte de pli ou de pincement dans l'arrangement des bractées du côté droit.

FIG. 10. — Section transverse de l'ovule O_1 . Elle passe dans le dôme. Gr. 29. L'ovule est présenté pour un observateur placé dans l'axe hilomicropylaire et regardant le côté A.

Sil. g. Sillon de séparation des deux lobes du sommet du dôme du côté bractéal. Les deux lobes du sommet sont encore largement coalescents du côté axial D. De ce côté D la coupe est un peu plus profonde.

Il y a des grains de pollen dans l'embouchure micropylaire.

FIG. 11. — Le côté bractéal du lobe A du dôme ovulaire montrant ses divers tissus complètement caractérisés. Gr. 64.

ep. ex. Épiderme tégumentaire externe, nettement palissadique dans la région dorsale, à cellules plus petites le long du sillon.

tf. ex. Tissu fondamental externe du tégument. Les éléments sont nettement rayonnants dans la région dorsale; ils sont isodiamétriques près du sillon.

f_a . Les éléments ligneux du faisceau f_a isolés dans une déchirure.

Il y a huit grains de pollen engagés dans l'orifice micropylaire.

FIG. 12. — Le côté axial ou côté D du lobe A. La section est un peu plus profonde. Les tissus de l'ovule sont moins caractérisés. L'épiderme externe est encore palissadique. Les éléments du tissu fondamental externe sont à l'état de cellules à *parois minces* avec masse plasmique contractée et surcolorée. Gr. 64.

FIG. 13. — L'épiderme tégumentaire externe vu de face sur le côté axial du lobe P du dôme. Gr. 152.

FIG. 14. — Section transverse de l'appareil collecteur qui est tout en haut de la figure 9. Gr. 64.

L'ovule est présenté pour un observateur qui est au centre du bourgeon. Ses deux lames collectrices, pliées en gouttières faiblement carénées, montrent leurs épidermes et leur faisceau.

La section transverse de la bractée qui est en bas et à droite présente l'état réduit de la nervure vers le sommet de cet organe.

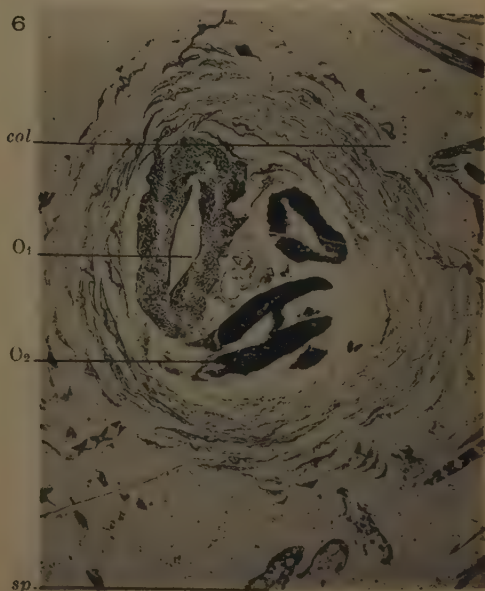
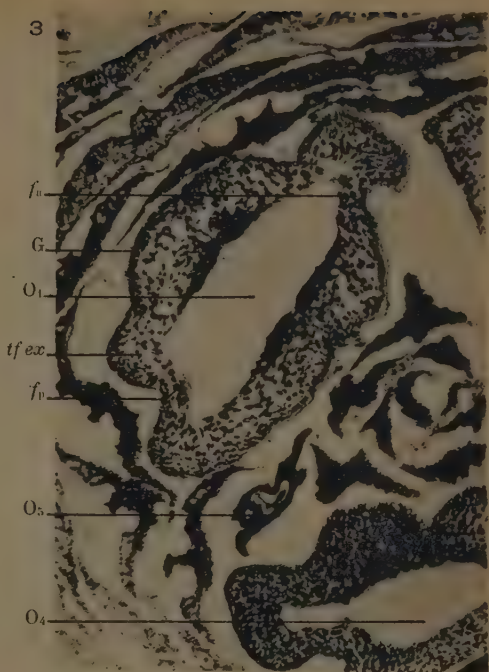
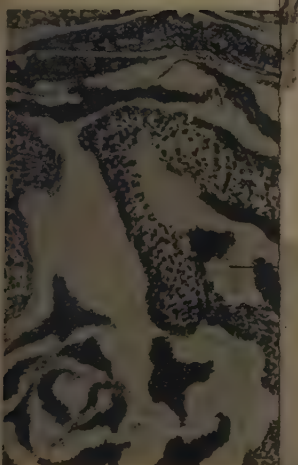
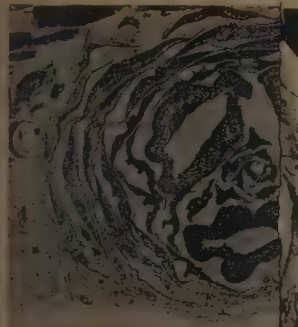
Un grain de pollen avec son intine contractée et plissée mais non cloisonnée.

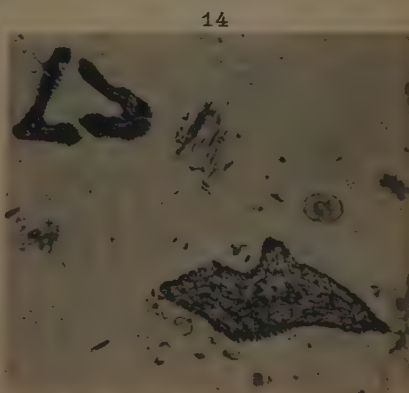
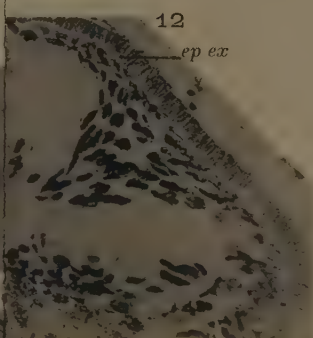
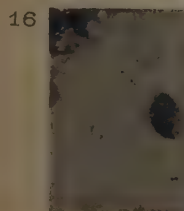
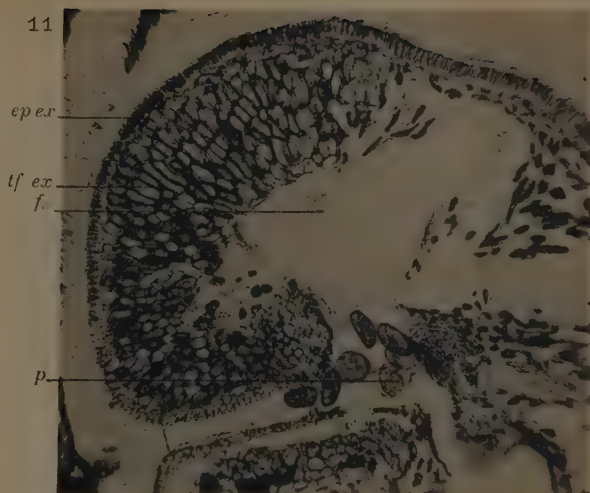
La figure 8, pl. 1, fait partie de cette série, fig. 9 à fig. 14.

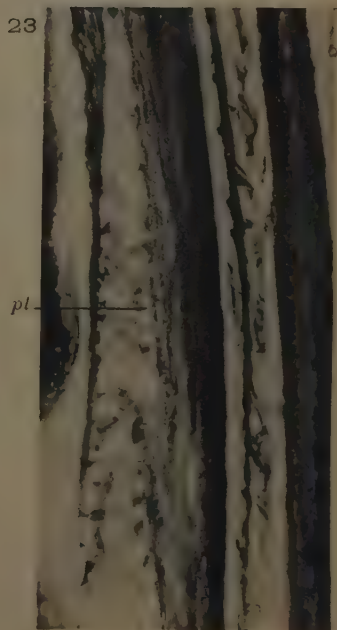
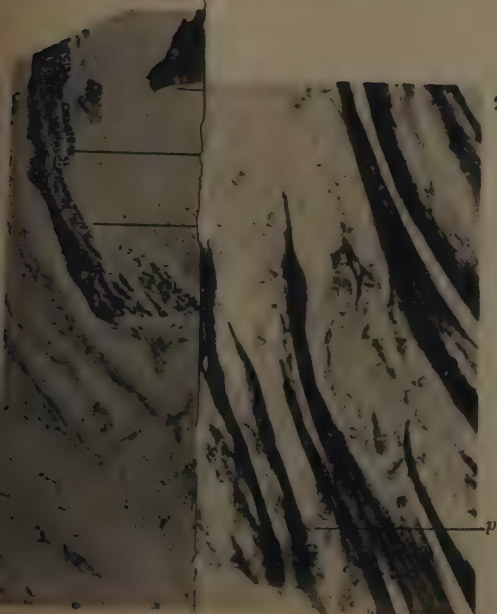
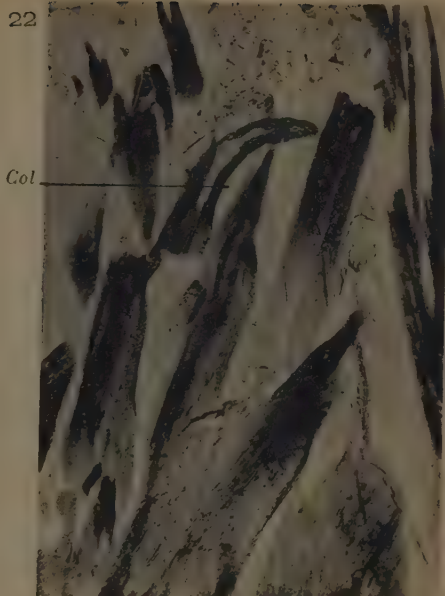
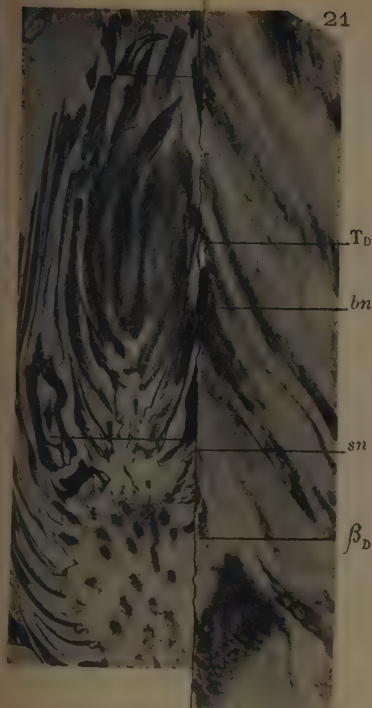
FIG. 15. — Section transverse dans le bourgeon B 193, c 2, présentée dans sa position de dépôt. Gr. 10.

On voit trois ovules voisins du sommet. L'ovule O_1 seul développé est coupé au niveau du bec nucellaire. Les ovules O_2 , O_3 sont coupés plus bas dans le corps même du nucelle. Ils sont atrophiés. Devant une bractée antérieure, on voit les deux lobes d'un appareil collecteur *col*. En bas, en ?, il y a probablement un appareil collecteur déformé, à lobes déformés.

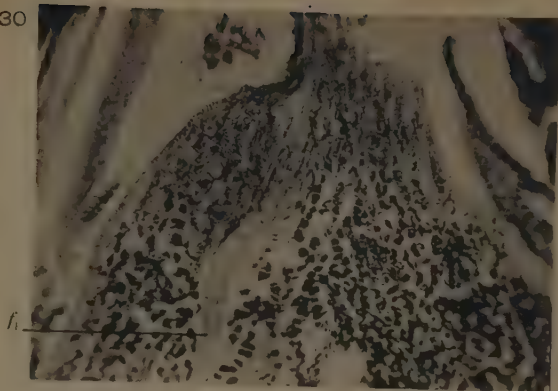
FIG. 16. — Section transverse du bec nucellaire de l'ovule O_1 pour montrer la courbure des cellules épidermiques contractées. Gr. 100.



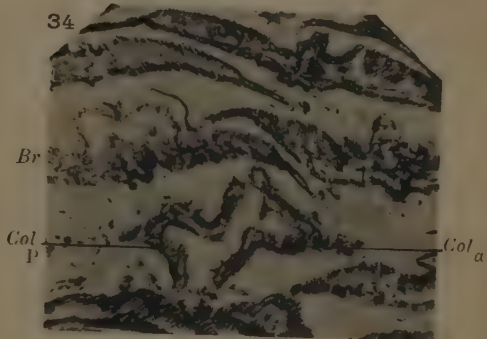




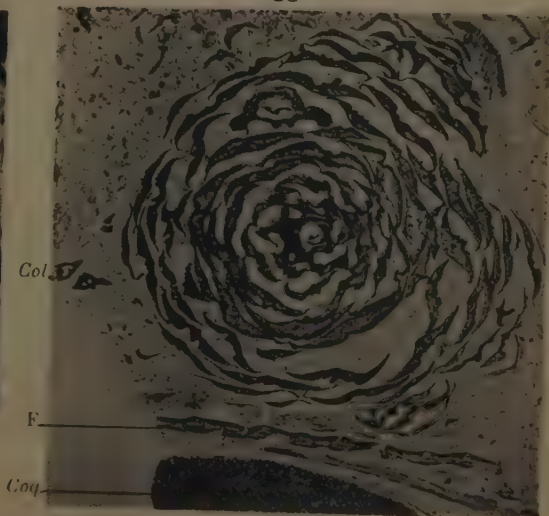
30

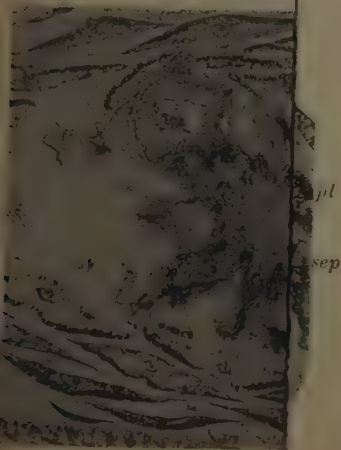
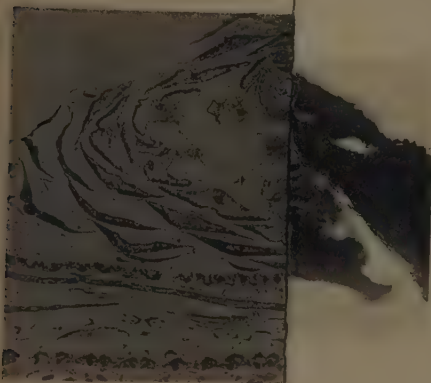


34



35





37

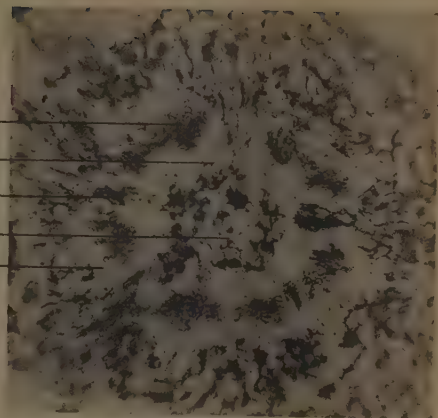
RR

Me

f

Mc

R

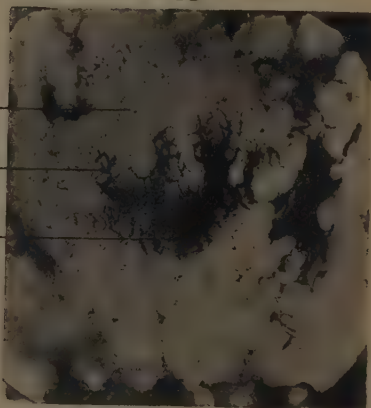


38

L

B₂

B₁



45

L

B₂

B₁



FIG. 17. — Section longitudinale d'un bourgeon qui contient un ovule presque terminal. Gr. 18. Préparation dite *Cordaianthus Grand'Euryi* BR. Original retravaillé de sa figure 14, pl. 7.

La section de l'ovule passe par les faisceaux tégumentaires.

Le nucelle a été fixé au moment de la pollinisation. Deux grains de pollen sont engagés dans le bec nucellaire, deux autres grains sont déjà dans la chambre pollinique.

FIG. 18. — Le bec nucellaire et la chambre pollinique grossis 80 fois.

La retouche de la préparation faite par B. Renault a fait disparaître le haut du bec nucellaire qui se voyait nettement au moment de la première figuration. Correspond à la figure 15, pl. 7 de B. Renault.

PLANCHE 3

Le *Cordaianthus Williamsoni* BR, fig. 19 à 24. Le bourgeon B 193, c 17, fig. 25 à 27.

FIG. 19. — Section tangentielle dans un bourgeon B 193, c 5 et c 4. — La préparation B 193, c 5 figurée ici est l'original des figures 1 et 2, pl. 15, l. c. nommé par B. Renault *Cordaianthus Williamsoni*. Gr. 7. La section montre deux ovules latéraux. Vers le haut, en col, on voit un appareil collecteur rompu transversalement.

Accidentellement cette coupe est très voisine du plan GD pour l'ovule de gauche. On ne voit qu'un lambeau de l'ovule de droite avec le bas de son collecteur. Préparation-type des ovules bitégumentés de B. Renault.

FIG. 20. — L'ovule gauche. Gr. 20.

Le haut du nucelle fortement rétracté a ramené le bec nucellaire tout entier dans la cavité séminale. Le bec nucellaire intervient pour trois huitièmes dans la longueur du nucelle. La région inférieure du nucelle est un sac à paroi très mince attaché au milieu du fond de la cavité séminale.

cs. La cavité séminale.

β. Bothrions, cavités creusées dans l'épaisseur du fond des graines des Diplotesta.

βG. Le bothrion bractéal ou bothrion G.

βD. Le bothrion axial ou bothrion D. Il paraît s'élever très haut sur le flanc D du tégument.

TG. Flanc bractéal du tégument unique.

TD. Flanc axial du tégument paraissant dédoublé par le prolongement du bothrion βD. La lame mince qui sépare βD de la cavité séminale a été regardée comme un tégument intérieur distinct par B. Renault. Le fond du bothrion vers le bas est très mince.

Ped. Pédoncule ovulaire. L'ovule est séparé de son pédoncule.

L. Lamelle ou lambeau coupé obliquement, d'où un faux aspect de bractéole (1).

FIG. 21. — L'ovule gauche grossi. Gr. 33,5.

Dans cette figure, par suite d'une très légère modification de la mise au

(1) Les bractéoles latérales ne pourraient être rencontrées par cette section de l'ovule.

point, on voit les tissus plus différenciés de l'embouchure micropylaire *cm* et du bec nucellaire. L'attache du sac nucellaire au fond de la cavité séminale. La lame cuticulaire interne du flanc bractéal du tégument.

FIG. 22. — Le haut du bourgeon grossi vingt fois.

Les deux lobes d'un appareil collecteur. Cet appareil a été brisé horizontalement et légèrement rejeté vers la droite.

Cette figure montre la très grande difficulté que l'on a à déterminer pour chaque organe ce qui appartient à un collecteur et ce qui est une bractée.

FIG. 23. — Portion de la section longitudinale du même bourgeon prise sur la préparation B 193, c 4, montrant l'attache des poils *pl* sur le bas des bractées. Les poils paraissent étranglés à leur base. Gr. 64.

FIG. 24. — Portion inférieure gauche de la figure 19 pour montrer la pluie de pollen retenue entre les écailles inférieures du bourgeon. Gr. 33,5.

FIG. 25. — Section longitudinale dans le bourgeon B 193, c 17.

La section, un peu oblique, devient tangentielle dans le haut du bourgeon. L'ovule qu'elle rencontre paraît terminal. La section est méridienne pour l'ovule. Celui-ci est coupé dans le plan des faisceaux tégumentaires *f_af_p*. On voit le bec nucellaire librement suspendu dans la cavité séminale. Gr. 8.

FIG. 26. — La base du même ovule grossie. On voit à gauche l'un des faisceaux tégumentaires. Gr. 25.

FIG. 27. — Section méridienne du bec nucellaire. Gr. 100. Par suite d'une décoloration plus facile des sacs plasmiques, on aperçoit les noyaux comme des pelotes arrondies plus sombres dans quelques cellules.

PLANCHE 4

Le bourgeon B 193, c 16, fig. 28 à 30. Le bourgeon B 193, c 14, fig. 31 à 34.
Le bourgeon B 193, c 1, fig. 35.

FIG. 28. — Section longitudinale du bourgeon B 193, c 16. La section rencontre un ovule qui paraît terminal par suite de la légère obliquité de la coupe. L'ovule est coupé dans le plan de ses faisceaux tégumentaires. Proviennent peut-être du même bourgeon que le *Cordiaanthus Lacallei* BH, fig. 16, pl. 17. Gr. 13.

Les tissus du sommet du dôme tégumentaire sont déjà complètement caractérisés (voir fig. 30). On ne voit que la base de l'appareil collecteur. Les tissus du tégument sur les flancs et dans sa base sont encore à l'état jeune, paroi cellulaire très mince, *masse plasmique volumineuse contractée et surcolorée*. Éléments disposés en files longitudinales; en bas et à droite, on voit un faisceau tégumentaire à marche récurrente, propre aux ovules rhabdocarpiens *f_a*. On ne voit que les tissus extérieurs du tégument, les tissus tégumentaires intérieurs de cette face sont ramassés en deux pelotes noires *ti*, sous le dôme, dans la partie supérieure de la cavité séminale.

Nucelle rétracté et plissé transversalement. A l'exception du bec nucellaire *bn*, il est formé d'éléments jeunes. On entrevoit son épiderme et son bec nucellaire.

FIG. 29. — L'ovule grossi vingt fois, pour montrer le nucelle, les pelotes rétractées des tissus tégumentaires intérieurs. L'alignement des cellules fondamentales de la région extérieure du tissu tégumentaire.

Fig. 30. — Le sommet du dôme tégumentaire, grossi pour montrer ses tissus complètement caractérisés. Épiderme, tissu fondamental extérieur et faisceau.

Fig. 31. — Section transverse dans le bourgeon B 193, c 14. Il contient deux ovules développés très éloignés du sommet. Gr. 8.

On remarquera les petites dimensions des bractées qui suivent immédiatement les ovules développés. Les ovules développés sont coupés entre le dôme tégumentaire et le sommet du nucelle.

En bas, devant une bractée, on voit les deux lobes, pliés en gouttière, d'un collecteur.

Fig. 32. — Portion de la section transverse de l'ovule O₁. Gr. 25.

L'épiderme palissadique (rhabdocarpien) forme un sac plissé isolé des autres tissus tégumentaires. Les tissus tégumentaires intérieurs sont largement déchirés aux extrémités internes du diamètre AP.

Fig. 33. — Un lambeau de l'épiderme tégumentaire externe laissant voir ses noyaux cellulaires. Les noyaux ont conservé une certaine coloration qui les rend encore visibles, alors que le sac plasmique éclairci collé à la paroi est redevenu transparent. Vers le haut, on voit un peu le dispositif rayonnant des parois cellulaires. Les noyaux sont du côté du corps ovulaire, c'est-à-dire à droite, tous massés vers le fond des cellules. La surface externe de l'épiderme est à gauche. Ce lambeau est pris vers le haut et à gauche du sac épidermique de la figure 32. Gr. 180.

Fig. 34. — Section transverse des lobes d'un collecteur. Gr. 58.

Les deux lobes collecteurs sont à l'état de lanelles carénées pliées en gouttière. L'ensemble du collecteur est rejeté un peu à droite de la surface de symétrie de la bractée mère.

Fig. 35. — Section transverse du bourgeon B 193, c 1. Il contient un gros ovule coupé dans son nucelle. Gr. 10. Le bourgeon est présenté dans sa position de dépôt.

A gauche, les sections de trois collecteurs. Dans ceux qui sont le plus à gauche on voit que tandis que les bords axiaux ou bords D des lobes sont déjà coalescents, les bords bractéaux ou bords G sont encore libres.

F. Feuille de Cordaïte coupée transversalement.

Coq. Coque tégumentaire dénudée d'un *Diplotesta*.

PLANCHE 5

Le bourgeon B 193, c 13, fig. 36 à 40. La nervure de la bractée, fig. 41.

Le bourgeon B 193, c 8, fig. 42 à 45.

Fig. 36. — Section transverse du bourgeon B 193, c 13. Cette section est *sous-apicale* tandis que toutes les précédentes étaient *sus-apicales*. La section rencontre deux ovules développés. L'ovule inférieur gauche est coupé au niveau de la base de son bec nucellaire. L'ovule supérieur droit est coupé dans le nucelle. Gr. 10.

Fig. 37. — L'ensemble de la masse libéroligneuse. Gr. 74.

R. Massif réparateur simple avec grands éléments ligneux à sa partie antérieure.

RR. Massif réparateur double.

f. Cordon foliaire sortant.

Mi. Zone intérieure de la moelle.

Me. Zone extérieure de la moelle contiguë aux faisceaux.

FIG. 38. — La section transverse d'un massif réparateur. Gr. 180.

B1. Les grands éléments ligneux antérieurs.

B2. Les fibres ligneuses secondaires en files radiales.

L. Liber.

FIG. 39. — La section transverse de la base du bec nucellaire. Gr. 100.

FIG. 40. — La section transversale d'une bractée, région droite du bourgeon. Gr. 34.

FIG. 41. — La section transverse d'une nervure. Bourgeon B 193, c 1. Gr. 180.

FIG. 42. — Section transverse du bourgeon B 193, c 8, présentée dans sa position de dépôt. Gr. 7.

FIG. 43. — Section transverse de l'axe du bourgeon et de l'attache de la bractée évidée. Cette bractée paraît avoir été prise pour un ovule. Gr. 11.

FIG. 44. — La bractée évidée. Région basilaire de la bractée.

pl. Les poils du flanc dorsal droit.

s. ep. Assise sous-épidermique dorsale.

tf. Le tissu fondamental.

mp. Une masse de grains de pollen.

FIG. 45. — Une masse réparatrice prise sur la gauche de la couronne libéroligneuse. Gr. 180. La mise au point a été faite sur le bois, de manière à montrer l'opposition des gros éléments ligneux antérieurs et des fibres ligneuses secondaires étroites disposées en files radiales.

SUR LE DÉVELOPPEMENT
DE LA
GLANDE MAMMAIRE
PENDANT LA GESTATION
ET SA CAUSE

Par MM. P. ANCEL et P. BOUIN

PROFESSEURS A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Il est peu de questions en physiologie qui aient sollicité autant de recherches et de controverses que la cause du développement de la glande mammaire et de la sécrétion lactée. On a fait intervenir toutes sortes de facteurs, en particulier l'action de l'ovaire, du placenta fœtal, du fœtus, du réflexe provoqué par la succion du nouveau-né, etc.; mais aucune démonstration précise n'a été fournie concernant l'existence réelle de ces actions. Cet insuccès est surtout dû, d'après nous, à ce que les auteurs n'ont pas fait précéder leurs études physiologiques d'une étude morphologique suffisamment approfondie. La glande mammaire passe en effet par une série de phases tout à fait distinctes les unes des autres; il est essentiel de les envisager séparément, parce que chacune d'elles se produit à des moments différents de la vie génitale de la femelle et par suite est susceptible d'être conditionnée par une cause différente. Aussi nous sommes-nous tout d'abord livrés à une recherche méthodique sur les caractères présentés par la glande mammaire pendant son évolution, en nous limitant au Lapin que nous avons choisi comme objet d'études. Nous avons ensuite recherché quel est le déterminisme

de chacune des phases que présente successivement la glande mammaire.

Une étude systématique de la glande mammaire du Lapin, faite depuis la naissance jusqu'au retour au repos après la fin du premier allaitement, montre que cette glande passe par trois grandes périodes, dont chacune peut être divisée en deux phases. Ces périodes sont les suivantes :

1° *Période prégravidique.* — Elle s'étend depuis la naissance jusqu'au premier accouplement; elle comporte deux phases successives: A. *La phase de la glande mammaire impubère*, qui dure jusqu'au début du premier rut, et qui est caractérisée par ce fait que la glande mammaire conserve ses caractères infantiles; B. *La phase de la glande mammaire pubère*, qui commence avec le premier rut, qui présente une durée variable et qui prend fin au moment de l'accouplement. Pendant cette phase, la glande se développe peu à peu, sans toutefois dépasser certaines limites: elle atteint alors environ 2 centimètres à 2 centimètres $1/2$ de diamètre.

2° *Période gravidique.* — Elle occupe toute la durée de la gestation. On peut y reconnaître: A. Une *phase de développement gravidique*, qui occupe la première partie de la gestation, une quinzaine de jours environ, et qui se caractérise par une augmentation rapide et considérable du volume de la glande; B. Une *phase glandulaire gravidique*, qui existe pendant la deuxième moitié de la gestation et qui est caractérisée par des phénomènes sécrétoires de plus en plus actifs au fur et à mesure qu'on se rapproche du terme de la grossesse.

3° *Période postgravidique.* — On peut encore lui distinguer deux phases: A. Une *phase glandulaire postgravidique* ou de *sécrétion lactée*, pendant laquelle la glande sécrète du lait; B. Une *phase de régression*, qui fait suite à la précédente après la cessation de l'allaitement et qui se traduit par une très lente involution de la glande mammaire.

Telles sont les phases que présente successivement la glande mammaire pendant son premier cycle, c'est-à-dire depuis la naissance jusqu'après la fin du premier allaitement. Une étude physiologique complète de cet organe doit expliquer le déterminisme de chacune de ces phases. Nous ne nous occuperons ici que de la glande mammaire pendant la première période de la gestation, c'est-à-dire pendant la phase de développement gravidique.

Exposé des faits

Des recherches antérieures nous ayant montré que la greffe et le premier développement de l'œuf étaient conditionnés par le corps jaune, nous avons supposé que le développement gravidique de la glande mammaire reconnaissait le même déterminisme. Pour chercher à démontrer l'exactitude de cette manière de voir, il nous a fallu satisfaire aux deux conditions suivantes :

1° Faire apparaître expérimentalement des corps jaunes dans un organisme neuf;

2° Faire apparaître ces corps jaunes à l'exclusion des autres facteurs qui compliquent d'ordinaire l'étude de la physiologie de la gestation.

Les études que nous avons faites antérieurement sur la ponte chez les Mammifères nous ont mis à même de satisfaire aux deux conditions ci-dessus énoncées. Ces recherches nous ont en effet permis de constater que cette ponte se fait de deux façons différentes : 1° Elle est *spontanée* et se renouvelle périodiquement chez certains Mammifères, comme la Femme, certains Singes, la Truie, la Jument, la Vache. Elle est suivie de la formation de corps jaunes dont la durée est variable suivant que l'œuf a été ou n'a pas été fécondé. Si l'œuf n'a pas été fécondé, le corps jaune a une durée fort courte et sera suivi de nouveaux corps jaunes qui réapparaissent *périodiquement* dans l'ovaire; nous les avons désignés sous le nom de *corps jaunes périodiques*. Si l'œuf a été fécondé, les corps jaunes ont une durée beaucoup plus longue et persistent dans l'ovaire pendant toute la gestation. Nous leur avons donné pour cette raison le nom de *corps jaunes gestatifs*; 2° La ponte n'est pas spontanée, mais est d'ordinaire provoquée par le rapprochement sexuel chez d'autres animaux, comme le Lapin, le Cobaye, le Chat. Dans les conditions normales, ces animaux ne possèdent de corps jaunes dans leurs ovaires que pendant la gestation, c'est-à-dire qu'ils possèdent seulement des *corps jaunes gestatifs*. C'est en nous appuyant sur ce fait que les Lapines ne peuvent avoir leurs premiers corps jaunes qu'après un rapprochement sexuel, que nous avons pu réaliser nos expériences sur les fonctions du corps jaune gestatif.

Pour faire apparaître expérimentalement de tels corps jaunes

gestatifs chez des Lapins neufs, nous avons institué deux groupes d'expériences : 1° Nous avons accouplé des Lapines vierges, au moment de leur premier rut, avec un mâle rendu stérile par ligation du canal déférent. Une telle opération a pour résultat, comme nous l'avons montré dans nos travaux antérieurs, de provoquer l'atrophie des cellules séminales et de laisser intacte la glande interstitielle du testicule et par suite la puissance génésique. Cet accouplement stérile a déterminé la rupture folliculaire et par suite la formation d'autant de corps jaunes gestatifs que les ovaires renferment de follicules mûrs. 2° Nous avons aussi déterminé la formation de corps jaunes par un autre procédé expérimental. Nous avons rupturé artificiellement des follicules ovariens avec des ciseaux fins ou avec la pointe d'une aiguille, et cette rupture a été suivie de la formation de corps jaunes. Mais il est nécessaire, pour réussir cette expérience, que les follicules soient parfaitement mûrs. Les corps jaunes qui se développent après cette rupture sont semblables à ceux qui succèdent à la ponte ovarique et possèdent la même action sur l'organisme de la femelle.

Grâce à ces procédés expérimentaux, nous avons pu déterminer l'apparition de corps jaunes dans des organismes neufs, sans qu'il y ait grossesse. Nous avons ainsi pu nous rendre un compte exact du mode d'action du corps jaune sur l'organisme de la femelle et reconnaître d'une façon précise les limites de son action.

Les glandes mammaires de la Lapine vierge, examinées au moment du premier rut, présentent un développement peu considérable, qui varie d'ailleurs avec le moment du rut où on l'examine. Chacune d'elles atteint environ 1 centimètre de diamètre au début des chaleurs et mesure 2 centimètres à 2 centimètres $1/2$ de diamètre en pleine période de chaleurs; ces glandes sont disposées en série sur la face ventrale du thorax et de l'abdomen, de chaque côté de la ligne médiane. Elles sont séparées les unes des autres par des intervalles considérables, qui ont à peu près 3 centimètres à 3 centimètres $1/2$. Ces glandes sont constituées par des canaux galactophores ramifiés, qui aboutissent à des culs-de-sac ou acini glandulaires. On y trouve une ébauche de processus sécrétoires.

Le lendemain de l'accouplement, c'est-à-dire au début de la

formation des corps jaunes, la glande mammaire commence à présenter des transformations profondes qui consistent essentiellement en une augmentation considérable de sa vascularisation et en un accroissement rapide de volume. Les ramifications des canaux galactophores se multiplient, les acini glandulaires augmentent de nombre, deviennent confluent et la glande tout entière s'étale dans le tissu cellulaire sous-cutané. Cinq jours après l'accouplement, chaque glande atteint déjà des dimensions considérables : elle mesure 6 à 8 centimètres de longueur et 4 à 5 centimètres de diamètre. Elles sont toutes venues en contact les unes avec les autres et forment dans leur ensemble, de chaque côté de la ligne médiane, deux vastes nappes glandulaires qui paraissent continues et qui s'étendent sur toute la face ventrale du thorax et de l'abdomen, depuis la base du cou jusqu'à la racine des membres postérieurs.

Les observations microscopiques montrent que cet accroissement est produit par de nombreuses divisions cytodierétiques. La cytodierèse est donc le phénomène réactionnel fondamental présenté par les cellules mammaires et c'est grâce à ce processus que la glande augmente de volume et acquiert tous les éléments dont elle aura besoin pour son fonctionnement ultérieur. Fait remarquable aussi, les éléments glandulaires une fois formés, n'offrent pas ou n'offrent que des ébauches de processus sécrétoires. Aussi peut-on encore désigner la phase de développement sous le nom de phase cinétique, pour caractériser le processus fondamental qui se produit alors dans ces organes.

A partir du cinquième jour, l'accroissement des glandes mammaires ne se traduit plus par un développement en surface, mais par une augmentation du nombre et du volume de leurs acini constitutifs. Ceux-ci, qui étaient séparés par d'assez fortes étendues de tissu conjonctif interstitiel, deviennent confluent; le tissu conjonctif se raréfie entre eux, en même temps qu'il est plus abondamment vascularisé par des capillaires sanguins et des lacunes lymphatiques. Un tel état s'observe déjà vers le dixième et le onzième jour après l'accouplement, mais il se présente avec le plus de netteté vers le quatorzième jour. A ce moment, on ne trouve plus guère de divisions dans les cellules des acini; ceux-ci ont à peu près terminé leur évolution et commencent même à offrir un début de processus sécrétoires.

La période de développement maximum de la glande mammaire coïncide avec celle où les corps jaunes sont à la fin de leur période d'état. L'involution de la glande coïncide avec celle du corps jaune.

Dans les conditions normales, c'est-à-dire quand l'accouplement a été fécond et qu'il y a eu grossesse, la glande mammaire continue à évoluer et à augmenter de volume. Cette augmentation de volume est due, et ceci est un fait important, non plus aux multiplications cellulaires, mais à l'accumulation dans la lumière des acini de produits sécrétoires toujours plus abondants. L'abondance de ces produits devient brusquement très considérable vers le vingt et unième jour; ils distendent alors les acini glandulaires et les canaux galactophores, qui en sont gorgés vers la fin de la grossesse. Il en résulte que, pendant la deuxième période de la gestation, les processus caractéristiques qui se passent dans les éléments de la glande mammaire sont des processus sécrétoires. Aussi peut-on opposer à la précédente cette phase de l'évolution de la glande mammaire et la caractériser par les noms de « phase sécrétoire » ou de « phase glandulaire ».

Dans les conditions expérimentales où nous nous sommes placés, les choses ne se passent pas ainsi et la phase sécrétoire ne se produit pas. Dès le seizième jour après l'accouplement, les acini glandulaires diminuent de volume, leur lumière s'efface, les dernières ramifications des canaux excréteurs se rétrécissent, la vascularisation diminue considérablement. Ces processus involutifs s'accroissent très vite et dès le vingt-cinquième jour après l'accouplement stérile, la régression de la glande est très accentuée. Beaucoup de lobes glandulaires ont disparu, d'autres ont beaucoup diminué de volume; ils sont quelquefois totalement séparés des canaux excréteurs principaux par atrophie des ramifications ultimes des canaux galactophores. Au microscope, on voit que beaucoup d'acini et de canaux excréteurs sont réduits à des amas irréguliers ou à des traînées de noyaux en dégénérescence. On voit aussi que l'épithélium des canaux galactophores se desquame par places et que les détritiques cellulaires tombent en grand nombre dans la lumière du conduit. En un mot, tous les éléments de la glande mammaire sont en pleine involution vingt-cinq jours après coit non fécondant.

Discussion et Conclusion

Les observations ci-dessus résumées montrent donc que la glande mammaire, après formation de corps jaunes gestatifs provoquée par coïts stériles, présente deux phases successives : 1° une phase évolutive, ou phase de développement gravidique, qui est caractérisée par des divisions cellulaires nombreuses et qui se poursuit pendant les quatorze ou quinze jours qui suivent l'accouplement ; elle est exactement semblable à la phase évolutive présentée par cet organe pendant la première moitié de la gestation ; 2° une phase involutive, qui commence vers le quinzième jour et qui se traduit par une lente atrophie des éléments formés pendant la phase précédente. Cette phase n'existe pas au cours de la gestation ; elle est remplacée par une phase sécrétoire ou glandulaire pendant laquelle les acini se remplissent d'un produit de sécrétion de plus en plus abondant.

La phase de développement gravidique de la glande mammaire est sous la dépendance du corps jaune. En effet :

1° Le corps jaune étant, dans nos expériences, le seul facteur nouveau introduit dans un organisme neuf, le développement présenté par la glande mammaire ne peut être attribué à une autre cause. Ce développement ne peut, en effet, être attribué aux deux causes invoquées d'ordinaire, c'est-à-dire l'œuf et le placenta. Ce ne sont ni l'œuf ni le fœtus, comme le veut STARLING, puisque les œufs pondus n'ont pas été fécondés et ont dégénéré très tôt dans la trompe ; ce n'est pas *a fortiori* le placenta, comme le veut HALBAN, puisque ce dernier est inexistant dans nos expériences.

2° Le développement de la glande mammaire ne peut être attribué à un réflexe nerveux dû au coït. En effet, *a*) il existe des cas où le coït ne cause pas la rupture folliculaire et où aucun corps jaune ne se développe. Dans ces conditions, la glande mammaire ne présente aucune modification ; *b*) en outre, les corps jaunes dont l'apparition est provoquée par rupture artificielle des follicules mûrs déterminent les mêmes phénomènes d'accroissement glandulaire que les corps jaunes qui se développent dans les conditions normales.

3° La suppression de tous les corps jaunes exerce sur la glande mammaire une action variable suivant la période où cette

destruction a été opérée. Si on détruit ces organes avec la pointe du thermocautère peu de temps après l'accouplement, l'évolution mammaire ne se produit pas ; si on opère cette destruction pendant la phase de développement, l'évolution mammaire s'arrête et la phase d'involution commence aussitôt.

Nous sommes donc autorisés à conclure de ces observations et expériences *que la phase de développement de la glande mammaire, au cours de la gestation, est conditionnée par le corps jaune.*

LE
MUR CYCLOPÉEN
DE LA TRINITÉ

(LÉGENDE PRÉHISTORIQUE)

PAR

le C^{te} J. BEAUPRÉ

(CORRESPONDANT DU MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE)

Dans la recherche de la vérité, un résultat négatif qui porte un coup mortel à une erreur accréditée jusqu'alors, a autant de valeur que la constatation d'un fait positif nouveau. Cette considération m'engage à entretenir la Société des sciences d'un sujet quelque peu différent de ceux qui lui sont exposés d'habitude. Je veux parler du mur dit « cyclopéen » de la Trinité, près Nancy.

Ni plus ni moins que s'il s'agissait de Mycènes, de Tirynthe ou de Knossos, on désigne communément sous le nom de *mur cyclopéen de la Trinité* un tronçon de mur à sec, construit en bordure d'une petite terrasse, au-dessus de la ferme de la Trinité, sur la côte de Malzéville. C'est non seulement une dénomination assez impropre, mais surtout un bien grand mot pour peu de chose, et vraisemblablement sans valeur archéologique, comme je vais essayer de le démontrer dans cette note.

Si M. Beaulieu n'avait pas parlé de ce mur en 1840, dans l'*Archéologie de la Lorraine*, il n'aurait probablement jamais été remarqué. Mais tel était le prestige attaché au nom de Beaulieu, qu'il a suffi à ce savant de le signaler et de le déclarer digne d'intérêt, pour qu'il ne soit venu à l'idée de personne de révoquer en doute son antiquité et sa destination guerrière.

Or, tout bien considéré, il ne s'agit pas ici de cyclopes, mais d'un géant aux pieds d'argile qui a grandi sous l'égide de savants distingués. N'est-ce pas l'histoire de bien des légendes, nées d'une erreur, et qui finissent comme celle-ci par figurer dans des manuels classiques? (1)

La paternité de cette fantaisie archéologique revenant à M. Beaulieu, il est bon, malgré son développement, de rappeler tout entier ce qu'on pourrait appeler son acte de naissance.

« Ce reste de fortification antique, dit Beaulieu (2), que personne n'a encore signalé, est sur le penchant de la côte Sainte-Geneviève, au-dessus de la maison de campagne de la Trinité. C'est une portion de mur faisant angle au sud, et qui n'a plus aujourd'hui qu'environ 4^m 60 de hauteur sur 8 mètres de longueur. Il est bâti en *maceria* ou grosses pierres superposées sans mortier ni ciment; elles sont grossièrement équarries et beaucoup d'entre elles ont jusqu'à 2 mètres de longueur.

« Cette ruine, qui paraît remonter au moins aux premiers temps de la conquête des Gaules par Jules César, était autrefois bien plus considérable, car il en dépendait encore un pan de mur qui se prolongeait au sud-est, le long de la vallée et qu'on a détruit il y a peu d'années; depuis j'ai pu reconnaître au moyen des fouilles que l'on fit sur son emplacement pour extraire des pierres à bâtir, qu'il y avait eu un autre mur du côté du nord, et qu'ainsi l'édifice n'avait pas été simplement adossé à la montagne, mais qu'il avait formé un parallélogramme isolé de 36 mètres de long sur 25 mètres de large, dans lequel il y avait un puits. L'intervalle existant entre les murs était rempli de pierrailles, et le massif, dont on ne peut apprécier aujourd'hui la hauteur primitive, était couronné par une plate-forme qui servait sans doute de point d'observation sur la vallée de la Meurthe. De là, on pouvait facilement communiquer avec les trois camps, d'Afrique, de Domremont et de Champigneulle. »

Les archéologues de 1840 se contentaient volontiers de travaux de ce genre, où l'imagination se donnait libre carrière, et où l'on chercherait vainement des observations précises. La note de Beaulieu ne résiste pas à la critique. En qualifiant l'ensemble de

(1) J. PERRON, *Petite histoire de la Lorraine*, p. 6 (*Société d'éditions et de publications*. Paris, imprimerie F. Juvin.)

(2) BEAULIEU, *Archéologie de la Lorraine*, note 4, p. 140.

l'ouvrage de *Reste de fortification antique* l'auteur va vite en besogne : sur quoi base-t-il une pareille affirmation ? Un mur, fût-il en *maceria*, n'en est pas pour cela un rempart, pas plus qu'un *mur antique*; quand même l'édifice aurait été un *parallélogramme isolé*. Mais Beaulieu, qui voyait des fortifications partout et qui affectionnait les considérations stratégiques (1), ne s'embarrasse pas pour si peu. Il va jusqu'à déclarer que cette ruine *paraît remonter au moins à la conquête romaine*. Il affirme, sur des on-dit, « qu'elle était bien plus considérable *autrefois* », etc. Quant au puits, on n'en voit pas la moindre trace. Il y a bien, à l'opposé du mur, une excavation, mais elle paraît sans profondeur : ce n'est pas dans un puits de ce genre que l'on trouvera la vérité ! Pourquoi aurait-on pris la peine de creuser un puits, quand on pouvait s'établir sur le point d'émergence de la source voisine ? Tout cela n'est pas sérieux ; mais le comble de la fantaisie, pour ne pas employer un mot plus sévère, est d'avoir écrit que « de cet endroit on pouvait communiquer au moyen de signaux avec les camps d'Afrique, de Dommartemont et de Champigneulle ». Il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte pour se rendre compte de l'inanité d'une semblable affirmation en ce qui concerne les camps d'Afrique et de Champigneulle : *ils ne sont en vue ni l'un ni l'autre !* (2)

L'oubli allait se faire sur la question, quand, vingt-neuf ans plus tard, en 1869, fut publiée, dans la *Revue des Sociétés savantes*, une courte note de M. C. Cournault, de nature à éveiller les soupçons au sujet de l'antiquité de l'ouvrage. M. Cournault (3) aborde le sujet avec beaucoup de prudence, avec le vieux bon sens lorrain. Il a fouillé le sol contre la face extérieure du mur, il sait donc à quoi s'en tenir, au moins en partie. Selon lui, l'ouvrage est « de tous points semblable au mur païen de Sainte-Odile », ce qui, soit dit en passant, serait quelque peu contestable, mais il se garde d'ajouter un mot de plus. On sent qu'il hésite à exprimer une opinion en désaccord avec les idées en cours. Il fait cependant une déclaration capitale quand il dit : *Tous les matériaux extraits étaient de date très récente.*

(1) BEAULIEU, *op. cit.*, t. I, pp. 55 et suivantes.

(2) J'ai déjà signalé cette inexactitude dans le *Bulletin de la Société préhistorique de France*, en 1906, p. 121. J. BEAUPRÉ, *Note sur les enceintes à vallum calciné*.

(3) C. COURNAULT, *Compte rendu des fouilles faites dans la forêt de Haye (canton de Noiroval, Meurthe)* [*Revue des Sociétés savantes*, 1869, 4^e série, t. IX, 1^{re} série, p. 205].

Il semblerait qu'à la suite de la publication de ce mémoire, la théorie émise par Beaulieu ait reçu un coup mortel. Or, il n'en est rien, et, ce qu'il y a de plus invraisemblable, c'est de voir M. R. Guérin, un des premiers cependant à appliquer les méthodes modernes, opérer un retour aux anciens errements et faire un saut de quarante-six ans en arrière, si je puis m'exprimer ainsi.

« Le poste à signaux de la Trinité, dit-il en 1886 (1), offre sous ce rapport un des plus curieux exemples qui nous soient restés de cette époque. Connu dans le pays sous le nom de *gros mur*, *mur gaulois*, construit presque au sommet du cap sud-est de la côte de Malzéville, assez en saillie, ayant à ses pieds une source d'eau vive, il a été à différentes reprises l'objet de savantes dissertations... Sur cet ouvrage, qui n'est qu'une partie d'une tour carrée, s'élevait incontestablement, suivant la mode gauloise, une haute charpente croisée en bois, prolongeant l'édifice jusqu'au faite de la colline. »

Si cet ouvrage avait été, comme le veut Guérin, un poste à signaux, ce n'est pas à mi-côte, mais bien au sommet de la colline qu'il aurait été élevé. En outre, on aurait choisi son emplacement, non pas en retrait sur un des flancs, mais à l'intersection de deux faces, de manière à multiplier les vues. Avant d'affirmer, Guérin aurait dû démontrer deux choses : 1° qu'il s'agissait bien d'un poste à signaux et 2° qu'il était bien d'origine gauloise. Or il n'a fait ni l'un ni l'autre. De même que celle de Beaulieu, sa notice se termine par une grosse erreur. En effet, il ne semble pas s'être douté qu'au-dessus de la courbe de niveau correspondante au mur, on compte encore, sur la carte au 1/50000^e, trois ou quatre autres courbes horizontales, jusqu'au sommet de la côte, ce qui, avec l'équidistance de 10 mètres, aurait donné à la charpente de sa tour imaginaire la hauteur fantastique de 30 à 40 mètres, pour atteindre, et sans le dépasser, le sommet de la colline (2).

C'est à croire vraiment qu'avant d'écrire ces rêveries sur les tours à signaux, Guérin n'a pas eu connaissance de la note de

(1) R. GUÉRIN, *Anciens postes à signaux de la période gauloise relevés en Lorraine* (Association française pour l'avancement des sciences. Congrès de Nancy. 1886. Notes et mémoires, p. 1062).

(2) Si quelqu'un s'avise de faire un travail d'ensemble sur les postes à signaux gaulois, ayant comme matériaux un certain nombre de notices comme celle de R. Guérin, il faut s'attendre à quelque chose de réussi !

M. C. Cournault. Il est vrai qu'on ne s'attendrait guère à trouver des renseignements sur le mur de la Trinité dans un compte rendu de fouilles faites dans la forêt de Haye! (1)

Où sont les « savantes dissertations » mentionnées par Guérin ? A part la note de Beaulieu et celle de C. Cournault, je n'ai rien pu découvrir qui soit antérieur au travail sur les *Postes à signaux* ; et ce n'est pas un des côtés les moins curieux de la question, que de se rendre compte de l'absence de tout travail sérieux sur le mur de la Trinité, en dehors des quelques lignes de M. Cournault. L'usage actuel d'indiquer des références a rendu des services aux auteurs, en les relevant du péché de paresse, et aux lecteurs en leur offrant des garanties de sincérité faciles à vérifier.

A propos de l'article, donné en 1886 par R. Guérin, dans les publications de l'A. F. A. S., pour employer une manière de s'exprimer aussi à la mode que profondément ridicule, qu'il me soit permis de critiquer la mauvaise habitude, prise par certaines personnes, de faire paraître des travaux exclusivement relatifs à des points d'histoire locale, dans des revues étrangères au pays, ou n'ayant avec cette science que des rapports éloignés. Comment les travailleurs lorrains, par exemple, peuvent-ils deviner qu'il a paru un article concernant l'histoire ou la préhistoire lorraine, dans un recueil imprimé à Brest ou à Perpignan ? Malheureusement, nombre d'auteurs préfèrent gagner en notoriété en publiant leurs matériaux dans les revues, largement répandues, de la capitale. Peut-on leur en faire un reproche ? Cependant, renoncer aux avantages de la grande publicité au profit de sa petite patrie, c'est faire acte de bon régionalisme, d'autant moins commun qu'il est plus désintéressé.

Voilà quel était, en 1886, l'état de la question, et l'on peut ajouter : tel il est encore aujourd'hui : Personne n'a fouillé la terrasse de la Trinité, c'est-à-dire la partie principale, dont le mur n'est en somme qu'une dépendance.

Je ne m'attarderai pas à passer en revue tout ce qui a été écrit depuis vingt-quatre ans. Les historiens et les préhistoriens eux-mêmes ont répété, sans les vérifier, les allégations sans fondements de Beaulieu et de Guérin, en y apportant parfois quelques variantes sans importance. Quant à la note de M. Cournault, elle est

(1) C. COURNAULT, *Compte rendu des fouilles faites dans la forêt de Haye, etc.*

demeurée ignorée, quand on ne lui fait pas dire le contraire de ce qu'elle contient. Je n'ai pas suivi le courant, ayant émis, dès 1901, une opinion contraire aux idées jusqu'alors en faveur (1).

Le but que je me suis proposé en écrivant ces lignes n'est pas tant de contredire mes prédécesseurs que d'établir la défectuosité de leur méthode : ils ont tous fait fausse route, pour avoir oublié que le préhistorien doit dire comme saint Thomas : *nisi videro, non credam*.

Dans des questions de cette nature, il ne s'agit pas de conjectures, il faut voir ce qui est, sans se laisser influencer par les travaux antérieurs et le plus ou moins d'autorité de ses devanciers. C'est absolument comme si quelqu'un ayant à donner son avis sur un tableau, se préoccupait d'abord de savoir quel en est l'auteur. Bien peu de personnes ont assez d'indépendance d'esprit pour émettre une idée personnelle. Et cependant, n'est-ce pas le seul moyen d'atteindre la vérité, cet idéal auquel nous aspirons, en histoire comme en préhistoire ?

En l'absence de tous renseignements, par la seule inspection des lieux, nous allons déterminer, sans idées préconçues, comme le ferait une personne étrangère à la question, en quoi consiste le mur en litige, et quelle a pu être sa destination rationnelle. J'espère démontrer avec ces seuls éléments l'inanité de la théorie de Beaulieu et ramener les choses au point.

En se rendant à la ferme de Bellevue, on suit un chemin d'exploitation qui desservait le bois de l'Hôpital et deux propriétés : Bellevue et la Trinité. En bordure de ce chemin, se trouve l'ouvrage ; c'est un entassement de pierres sèches, de dimensions irrégulières, posées les unes sur les autres de façon à former un mur à sec, orienté sud-ouest — nord-est, semblable aux grossiers murs de soutènement que l'on voit dans la campagne, principalement aux alentours des carrières. Il était visiblement destiné à maintenir en place l'amas de matériaux formant terrasse qui se trouve derrière lui, et n'a jamais été plus haut, c'est bien certain. C'est à l'endroit où la poussée des matériaux entassés derrière est la plus forte, c'est-à-dire à son extrémité sud-est formant angle, que les plus gros matériaux ont été mis en œuvre. Leur longueur varie entre 50 centimètres et 1 mètre. Le plus gros

(1) C^{te} J. BEAUPRÉ, *Les Études préhistoriques en Lorraine de 1889 à 1901, etc.*, p. 60.

quartier de roche atteint 1^m 73; et cependant, disait Beaulieu, « beaucoup ont jusqu'à 2 mètres de long ».

D'où proviennent les matériaux constitutifs de la terrasse ? Si l'on monte sur cette dernière, on s'aperçoit qu'elle fait corps, à l'opposé du mur, avec une ancienne carrière. C'est avec les déblais de celle-ci qu'elle a été constituée.

Quand on a construit les anciens bâtiments de la Trinité et de Bellevue, on a dû prendre la pierre le plus près possible, afin d'éviter des charrois inutiles, et comme il n'existe aucunes traces d'extractions de pierre nulle part ailleurs aux environs, c'est évidemment là qu'on l'aura prise. Beaulieu ne nous dit-il pas, lui-même, que l'on y fit « des fouilles pour en extraire des pierres à bâtir » ? Après avoir entaillé le flanc de la colline, les ouvriers ont rejeté sur le versant tous les déblais pour s'en débarrasser d'abord, et ensuite pour former un emplacement destiné à servir de dépôt aux matériaux en attendant leur chargement. Pour éviter qu'ils ne glissent sur le chemin passant en contre-bas de la terrasse ainsi formée, ils ont élevé en bordure un mur en pierres sèches, formant soutien. C'est du haut de ce mur qu'on chargeait les voitures, qu'il suffisait d'amener à ses pieds, comme cela se voit dans beaucoup de carrières du même genre. Pour donner plus de solidité à l'ouvrage, de gros quartiers de rochers ont été employés exclusivement dans la partie exposée à la poussée la plus forte, c'est-à-dire précisément à l'angle regardant l'est. Voilà, à mon sens, tout le secret de cet appareil, soi-disant cyclopéen. La rampe d'accès se trouvait face au sud-ouest; ainsi s'explique l'absence du mur de ce côté où il aurait été gênant et inutile.

Contrairement aux assertions de MM. Beaulieu et Guérin, la terrasse n'a la forme ni d'un parallélogramme ni d'un carré : c'est un trapèze nettement dessiné. Sa longueur est d'un bon quart plus considérable au point de raccordement de celle-ci avec la base de la colline, qu'à l'endroit du mur. En outre, au lieu d'avoir, comme à l'opposé, une orientation sensiblement nord-ouest — sud-est, le côté tourné vers Malzéville est orienté de l'ouest à l'est. Si jadis cette terrasse avait été complètement entourée de murailles, de façon à constituer le parallélogramme de Beaulieu ou la tour carrée de Guérin, il serait vraiment étrange que ce soit la partie qui avait le plus de fatigue qui

ait exclusivement subsisté jusqu'à nos jours et soit demeurée en aussi bon état de conservation.

« En 1617, nous apprend M. Lepage (1), Jean de Marcossey, baron d'Haussonville, Turquestein et Passavant, seigneur de Goin et d'Essey, bailli de Vosge, etc... laisse et ascense « une contrée tant bois taillés que friches, séant au bois de Malzéville, communément appelée Bois de la Goule... entre les bois de l'hôpital Saint-Julien de Nancy d'une part,... et les terres friches de Flammémont d'autre part. »

L'ouverture de la carrière daterait donc vraisemblablement de cette époque, ainsi que le mur de soutènement, ce qui rajeunit singulièrement nos *cyclopes*. Quant aux traces de séjour humain, telles que foyers, débris de cuisine, etc..., pouvant se trouver dans le sol de la terrasse, il faudrait les bien examiner, avant de les déclarer anciens. N'est-il pas d'usage, chez les carriers, d'élever sur ces genres de plates-formes des maisonnettes en pierres, où ils rangent leurs outils, prennent leurs repas et passent même souvent la nuit ?

En résumé, en dépit d'une réclame injustifiée, *rien ne prouve jusqu'à présent l'antiquité du mur de la Trinité*; et même toutes les apparences concourent à affirmer qu'il ne présente aucun intérêt.

Si, pour ma part, je ne fais aucun cas du mur lui-même, je serais cependant disposé, surtout si la source dont parle Guérin existait réellement de son temps, ailleurs que dans son imagination, à faire quelques réserves au sujet de la terrasse, c'est-à-dire à l'endroit où précisément personne ne s'est donné la peine de fouiller. Abstraction faite des couches superficielles, témoins des extractions de pierres du dix-septième siècle et des suivants, il peut exister, en dessous de celles-ci, des couches archéologiques plus anciennes, antérieures à la construction du mur et aux rechargements modernes de la terrasse, n'ayant par suite aucuns rapports avec l'ouvrage actuel.

S'il faut en croire les on-dit, on aurait trouvé jadis derrière le mur « une épée et une hallebarde de cuivre (2) », mais je sais, et

(1) H. LEPAGE, « Quelques environs de Nancy, etc. » (*Journal de la Société d'archéologie lorraine*, 1886, p. 193 à 234).

(2) « Un vieil ouvrier, dit M. Courmault dans sa note, m'a dit avoir trouvé une épée et une hallebarde en cuivre derrière ce mur... Je n'ai pas cru devoir faire des fouilles en ce lieu, malgré les assurances de cet homme, qui rêvait de trésors cachés. »

M. Cournault appréciait comme moi ce que vaut l'aune de semblables racontars. Je ne puis mieux résumer ma manière de voir qu'en disant avec La Fontaine :

Ce bloc enfariné ne me dit rien qui vaille.

Quoi qu'il en soit, nous voilà loin des fortifications imaginaires de l'auteur de l'*Archéologie de la Lorraine*, des divagations de Guérin sur les postes à signaux gaulois et des fantaisies archéologiques de nos devanciers. Pussions-nous avoir assuré pour toujours la tranquillité du plateau cher aux promeneurs nancéiens, en en chassant les Cyclopes !

L'OÏDIUM DU CHÊNE

ACTION DU SOUFRAGE EN PÉPINIÈRE

Par M. E. CUIF

Il est bien certain que les forestiers ne peuvent songer à combattre l'oïdium sur tous les chênes de la forêt. Il y a là une impossibilité matérielle.

M. le professeur Vuillemin a cru, d'ailleurs, pouvoir les rassurer à cet égard. L'oïdium du chêne aurait un ennemi naturel dans un *Cicinnobolus*, champignon appartenant à la famille des Sphærop-s.dés.

« L'installation spontanée du *Cicinnobolus* sur l'oïdium du chêne », dit M. le professeur Vuillemin, « est susceptible de mettre un frein naturel à la propagation et à la persistance de la maladie du blanc. Les forestiers peuvent laisser aux agents naturels le soin d'attaquer de front l'oïdium, se bornant à les seconder par les mesures hygiéniques qui sont du ressort habituel de la sylviculture. » (*Revue des Sciences*, 15 octobre 1910.)

Mais il est un cas où le forestier est moins sylviculteur qu'horticulteur : c'est lorsqu'il élève, dans des pépinières plus ou moins importantes, des plants destinés à des travaux de boisement.

Le forestier doit-il alors s'en remettre aux agents naturels du soin d'arrêter les maladies parasitaires ? Certes non, car ici tous les procédés de lutte employés par les jardiniers deviennent matériellement applicables. D'autre part, au point de vue économique, les dépenses engagées en remèdes peuvent en général se trouver largement récupérées dans la suite.

Voilà pourquoi, dès que la présence du blanc du chêne fut

remarquée pour la première fois dans la forêt domaniale d'Amance (Meurthe-et-Moselle), vers la fin du printemps 1908, notre premier soin fut de chercher à préserver des atteintes du champignon les plants de la pépinière dite de l'Étang de Brin, d'où l'on tire, annuellement, environ 40.000 chênes de cinq ans.

Il était tout indiqué de s'adresser au remède employé avec tant de succès, depuis plus d'un demi-siècle, contre l'oïdium de la vigne, c'est-à-dire au soufrage. Toutefois, appliqué trop tardivement, le traitement de cette première année ne fut pas couronné de succès.

L'expérience méritait d'être reprise.

En 1909, les 2 et 3 juin, avant l'apparition de la maladie, du soufre-naphtaline fut répandu avec un soufflet spécial dans tous les carrés de la pépinière garnis de chênes, en procédant par bandes alternes, les unes soufrées, les autres non traitées et destinées à servir de témoins.

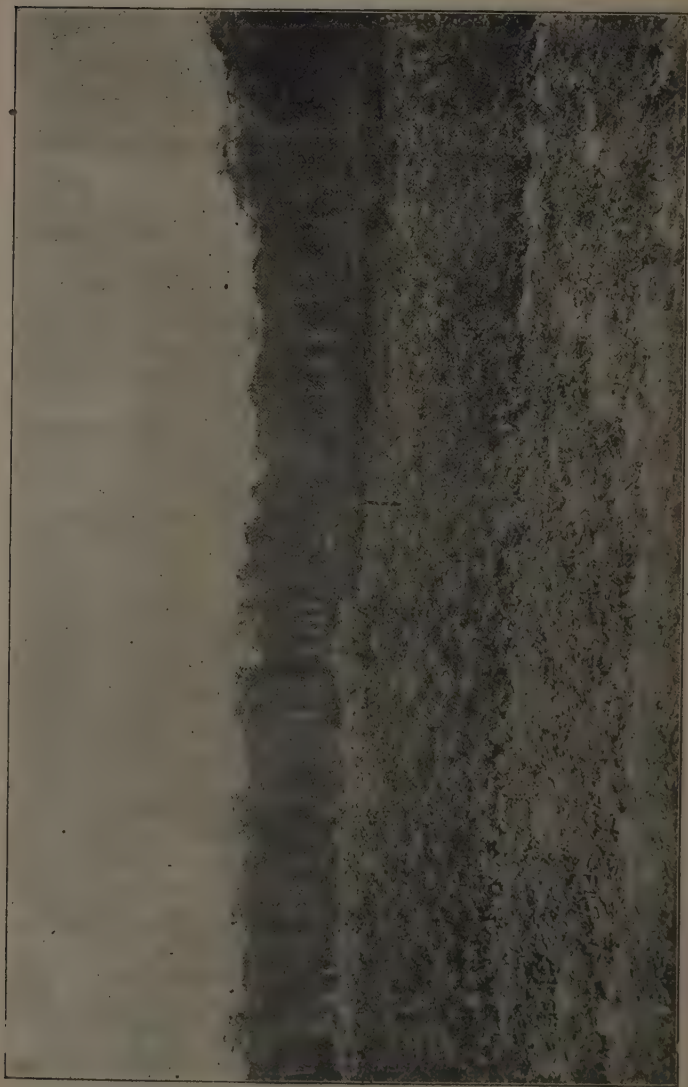
On répéta la même opération à deux autres reprises, fin-juillet et mi-août.

L'efficacité du traitement fut alors complète. Rien ne le prouve mieux que la photographie ci-jointe, prise en octobre 1909, où l'on voit côte à côte, à droite et à gauche d'une canne servant de repère, les chênes non traités d'une part, les chênes traités de l'autre. Sur les premiers, l'extrémité des pousses, après avoir été blanchie par l'oïdium, est devenue noire, a cessé de s'accroître et finalement s'est desséchée. Il en est résulté une perte d'accroissement en hauteur comprise entre 15 et 25 centimètres, attestée par la taille des sujets que les trois soufrages successifs ont préservés du mal.

Après un tel résultat, il n'y avait plus à hésiter, et, en 1910, tous les chênes de la pépinière de l'Étang de Brin furent soufrés avec de la fleur de soufre sublimé à trois époques différentes, fin mai et au début de chacun des mois de juillet et d'août.

Grâce à ces traitements préventifs, la maladie ne se développa pas dans la pépinière, alors qu'elle continua à exercer ses ravages sur les semis ou rejets des peuplements voisins.

En 1910, on remplaça le soufflet du jardinier par une soufreuse, et il est intéressant de noter que pour une pépinière garnie de plants repiqués de deux à cinq ans, distants de 5 centimètres dans des lignes espacées de 15 centimètres, la quantité de soufre employé a été en moyenne de 1 kilo par are et par soufrage.



L'oidium du chêne. — Action du soufrage dans la pépinière de l'Étang de Brin (forêt domaniale d'Amance).

La fleur de soufre sublimé valant 20 à 25 centimes le kilo, on peut, par suite, évaluer à 1 franc environ, y compris la main-d'œuvre et l'amortissement de l'instrument, le prix de revient du traitement complet appliqué sur une surface d'un are.

Or, la pépinière de l'Étang de Brin présente une surface cultivée de 30 ares ; c'est donc une dépense de 30 francs qu'il y a lieu d'engager annuellement pour protéger les plants contre l'oïdium. Si l'on considère, d'une part, que les 40.000 chênes tirés de la pépinière valent 1.000 francs environ lorsqu'ils ont crû normalement ; que, d'autre part, l'oïdium non seulement réduit considérablement l'accroissement, mais encore rend les plants buissonnants et par suite d'une valeur marchande bien moins élevée, on est forcé d'admettre que le soufrage en *pépinière* est une opération recommandable au premier chef au point de vue économique comme au point de vue cultural.

On pourra objecter sans doute que la maladie réapparaîtra sur les plants une fois mis en place *en forêt*. C'est possible ; mais son intensité sera d'autant moindre que les sujets seront isolés, par conséquent bien aérés, et surtout d'une taille plus élevée.

UN EXEMPLE DE CONTAMINATION DU NIVEAU AQUIFÈRE PORTLANDIEN

LA SOURCE DE FAINS (*Bar-le-Duc*)

Par M. René NICKLÈS

PROFESSEUR DE GÉOLOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY
COLLABORATEUR DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE FRANCE

Parmi les niveaux aquifères alimentant les sources de l'est du bassin de Paris, deux doivent être considérés *a priori* comme suspects, et les eaux qui en proviennent ne doivent être utilisées pour l'alimentation qu'après une enquête extrêmement rigoureuse. L'examen géologique doit en particulier comporter une précision très grande, en raison de la facilité avec laquelle, dans certaines régions, les eaux de la surface peuvent, au travers de ces terrains, gagner sans être filtrées, et par suite contaminer le niveau aquifère.

Ces terrains suspects sont, l'un les calcaires triasiques du muschelkalk, calcaires dolomitiques souvent criblés de puits naturels ou bétoires et qui affleurent en Meurthe-et-Moselle et dans les Vosges ; l'autre le terrain portlandien le plus récent des terrains jurassiques, qui présente les mêmes caractères dangereux. Ces calcaires à perforations fréquentes présentent dans leur composition chimique un caractère commun : ils sont magnésiens : ce sont des calcaires dolomitiques. D'ailleurs, d'une façon générale, il est connu que les calcaires dolomitiques sont fréquemment sujets à des accidents de ce genre.

Je laisserai aujourd'hui de côté la question des calcaires du muschelkalk. Je voudrais attirer d'abord l'attention sur la contamination trop fréquente du niveau aquifère portlandien.

Les affleurements de cet étage commencent au nord aux environs d'Apremont ; dans le département des Ardennes ils n'occupent qu'une petite bande de 3 ou 4 kilomètres, — mais dès son entrée dans le département de la Meuse le portlandien y prend une extension considérable et il conserve cet ordre de grandeur dans toute la traversée du département. Il s'élargit encore en Haute-Marne, atteint son maximum à l'est de Wassy ; en se rapprochant de Bar-sur-Aube des failles importantes le rejettent en profondeur et la largeur de ses affleurements se rétrécit.

Dire que sur toute l'étendue du portlandien on trouve des bétoires serait exagéré : si certaines parties assez étendues en paraissent indemnes, d'autres au contraire en sont criblées. Il me paraîtrait prématuré de chercher dès à présent la loi de répartition de ces bétoires.

On a longtemps soutenu que les bétoires étaient dus à l'existence de failles ; bien que, dans l'exemple de Bar-le-Duc que je vais donner, ils soient en effet groupés au voisinage d'une faille, j'ai hâte de dire que dans d'autres régions, au sud de Montfaucon (Meuse) par exemple, les bétoires très nombreux semblent absolument indépendants de ce genre d'accidents.

Niveau aquifère portlandien de Bar-le-Duc. — L'étude du bassin qui alimente Bar-le-Duc en eau potable paraît devoir s'imposer d'abord en raison de l'importance de cette ville, mais aussi surtout parce que la constitution géologique de ce bassin est facile à comprendre, et parce qu'il présente l'exemple de contaminations graves auxquelles on a pu remédier par des travaux de dérivation judicieusement ordonnés.

La source la plus importante alimentant la ville est la source de Fains : elle provient, comme toutes les sources de Bar-le-Duc, du niveau aquifère de la base des calcaires fissurés du portlandien qui reposent, comme on sait, sur les marnes imperméables du kimmeridgien.

Bar-le-Duc est situé dans la vallée de l'Ornain et sur ses flancs : le plateau portlandien qui domine la ville au sud-ouest est le bassin d'alimentation de la source de Fains.

Allure générale. — Examinée dans son ensemble, l'allure générale des couches, marnes et calcaires, de ce bassin d'alimentation, et par suite l'allure générale du niveau aquifère lui-même, présentent un pendage vers l'ouest. Les eaux ont donc, d'une façon générale, une tendance naturelle à se diriger souterrainement de l'est vers l'ouest. Mais la région de Bar, comme la plupart des régions lorraines, est affectée par des accidents locaux modifiant momentanément l'allure des couches et la direction des cours d'eau souterrains : dans le cas présent, deux accidents ont une importance capitale : il me paraît nécessaire de les décrire brièvement ; ce sont : 1° l'*anticlinal de Longeville* ; 2° la *faille de Vél*.

Anticlinal de Longeville. — Lorsqu'on suit la bordure du plateau portlandien au sud-ouest de la vallée de l'Ornain, on remarque que les cotes d'altitude s'élèvent progressivement du nord-ouest au sud-est ; au-dessus de Savonnières on trouve la cote 281 ; plus loin la cote 314 ; enfin, au signal de Longeville, la cote 333. Or cette montée progressive affectant la surface du plateau est encore plus accusée pour les couches géologiques ; en effet, les couches affleurant à la cote 281 sont plus récentes que celles affleurant au signal de Longeville (333) : la base du niveau aquifère a donc un pendage sensiblement plus rapide que celui du plateau. J'ai pu m'en assurer par les observations de détail que j'ai faites à diverses reprises sur cette région. A Longeville les couches sont sensiblement horizontales ; elles semblent ensuite descendre faiblement vers Tannois et remonter plus loin vers Nançois pour plonger ensuite très fortement au sud-est de Ligny et de Givrauval. Telles sont les oscillations de cet anticlinal très surbaissé, ridé parallèlement à lui-même, et dont la ride nord, le petit anticlinal de Longeville, seule, nous intéresse.

Orientation de l'anticlinal. — L'anticlinal de Longeville paraît avoir la direction nord-est—sud-ouest, c'est-à-dire la direction hercynienne la plus fréquente en Lorraine. La crête de l'anticlinal passe sensiblement par le signal de Longeville ou à quelques centaines de mètres au nord. Je ne puis préciser davantage, les observations étant très délicates dans cette région, par suite de l'absence dans les calcaires portlandiens de repères paléontologiques précis. Son prolongement se poursuit sensiblement à quelques centaines de mètres au sud de la ferme du Chêne et doit venir

aboutir aux environs de la bifurcation des chemins marquée Croix Drouot sur la carte d'État-major, à 2 kilomètres environ à l'est-sud-est de Brillon.

Telle est la crête anticlinale délimitant dans la profondeur la ligne de partage des eaux souterraines; *toutes les eaux souterraines qui sont au nord du tracé de cette ligne se dirigent au nord-ouest vers Bar et Fains; toutes celles qui sont au sud se dirigent vers Montplonne et la vallée de la Saulx.*

Faille de Véel. — Si les eaux souterraines ne rencontraient pas d'obstacle dans leur trajet, elles iraient émerger assez loin au nord-ouest, soit dans la vallée de la Saulx, soit dans la vallée de l'Ornain : or il n'en est pas ainsi. Elles sont arrêtées par un barrage naturel très important, conséquence de la faille de Véel, et sont dérivées vers la source de Fains captée par la ville de Bar-le-Duc, et vers la source des Éventails, près de Fains. Cette faille n'est pas marquée sur la carte géologique et, à ma connaissance, n'a pas été signalée jusqu'à présent. Elle m'avait frappé par son évidence entre Combles et Véel : j'ai tenu à en relever exactement le tracé.

Tracé de la faille. — Elle débute à 1 kilomètre environ à

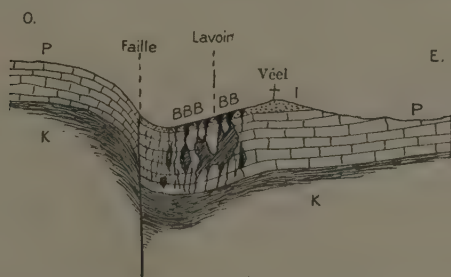


FIG. 1. — Faille de Véel : K marnes kimmeridgiennes imperméables ; P calcaires fissurés du Portlandien ; I infracrétacé (sables argileux) ; BB béthoules. •

l'ouest de Fains, passe à quelque 300 mètres à l'ouest de Véel (fig. 1), et côtoie à l'ouest le village de Combles. Jusque-là il est très facile de suivre la faille : les marnes infracrétacées affaissées à l'ouest viennent buter contre les calcaires portlandiens, relevés à l'est. De Fains à Combles, sa direction est presque exactement

nord-sud. A partir de Combles, l'amplitude du rejet diminue très sensiblement ; la faille devient plus difficile à suivre ; cependant l'examen attentif des affleurements m'a fait conclure à son prolongement presque en ligne droite au travers du bois de Combles, dont elle sort en suivant l'axe du vallon boisé qui aboutit au nord-est (à 500 mètres) de la ferme de Saint-Michel près Brillon ; et de là, par son prolongement en ligne droite, semble devoir atteindre, à 2 kilomètres, l'axe de l'anticlinal de Longeville, à la Croix Drouot.

En résumé, les eaux émergeant de la source de Fains proviennent d'une vaste cuvette correspondant à l'étendue du plateau dominant Bar au sud-ouest ; cette cuvette est limitée au sud-est par l'anticlinal de Longeville et barrée à l'ouest par la grande faille de Combles et de Véel. Mais, avant de tirer aucune conclusion, il convient de savoir ce que sont les calcaires du portlandien et de quelle façon les eaux souterraines circulent vers leur base.

L'Étage portlandien ; sa composition. — Dans son ensemble le portlandien présente les subdivisions suivantes :

1° *A la base*, des *calcaires durs lithographiques* en bancs épais séparés par des lits de marne très mince avec abondance de petites huîtres (*Exogyra virgula*) et de grosses ammonites (*Stephanoceras gigas*). Ces bancs épais sont fissurés et c'est dans les fissures que l'eau circule ;

2° Au-dessus se développent des *calcaires caverneux* bien connus dans la région de Bar par leur utilisation comme rochers d'ornement dans les jardins. Ces calcaires sont dolomitiques ;

3° *L'oolithe vacuolaire* présentant aussi de nombreuses cavités et n'existant qu'aux environs de Véel et de Combles ;

4° *Le grès calcaire* de Combles, très limité comme affleurements.

Ainsi, sur ces quatre assises du portlandien, les deux plus importantes à notre point de vue, celles qui couvrent de leurs affleurements la presque totalité de la cuvette, sont les subdivisions 2 et 3, qui toutes deux sont perforées de cavités se rejoignant et pouvant s'être agrandies au point de devenir de véritables grottes (1). La quatrième, le grès calcaire de Combles, qui

(1) C'est le cas du village de Combles où les calcaires portlandiens présentent une grotte de dimensions très importantes (Buvignien, *Statistique géologique de la Meuse*, p. 402 et 403).

ne présente pas ces défauts malgré les fissures et les bétoires qui le traversent, ne s'étend que sur une très faible partie du plateau : son rôle protecteur est insignifiant. — Enfin, le plateau présente un petit affleurement de sables marneux néocomiens (infracrétacé) sous les villages de Combles et de Véel et entre ces deux villages : mais il ne s'agit ici que d'un très petit lambeau à proximité de la faille et criblé de nombreux bétoires.

Influence du voisinage de la faille. — A proximité de la faille les terrains n'ont pas conservé leur allure sensiblement plane ; par suite du jeu de cet accident, ils se sont recourbés, « retroussés », et les calcaires qui ne sont pas plastiques se sont fortement fissurés : la circulation des eaux souterraines et les eaux atmosphériques absorbées par le sol ont élargi ces fissures en les corrodant et ont formé des grottes nombreuses dont la voûte en voie d'effondrement est le plus souvent l'origine des bétoires. Bien que les bétoires ne coïncident pas avec la faille même, ils en jalonnent ici très nettement la proximité et correspondent spécialement à la bordure ondulée et particulièrement fissurée de la cuvette.

Ce qui se produit lors d'une pluie abondante se conçoit très facilement : les eaux ayant lavé les engrais déposés sur le sol vont se perdre dans les bétoires et arrivent troubles sans filtration ni même décantation aucune à la source de Fains et à celle des Éventails.

Les expériences à la fluorescéine⁽¹⁾, pratiquées avec le plus grand soin en janvier, février et mars 1900 par M. Kuss, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et le Dr Ficatier, précisèrent ces communications et montrèrent que les bétoires de Combles, et en particulier celui de la propriété Sainsère, communiquaient avec la source de Fains ; que les bétoires de Véel étaient d'autre part en relations avec la source des Éventails seulement.

Mais ces canalisations souterraines, isolées en temps ordinaire, n'ont-elles pas d'anastomoses leur permettant de communiquer en temps de grandes pluies, lorsque le niveau des eaux est plus élevé ? Ou bien, est-on en présence d'un barrage souterrain formé par la crête d'un petit anticlinal ou par une faille d'importance secondaire, l'un ou l'autre de ces accidents étant, comme cela se

(1) Rapport de la commission technique et médicale des eaux. Bar-le-Duc. 1900.

voit souvent, le précurseur de la grande faille ? La première hypothèse est aussi vraisemblable que la seconde, en raison de l'existence connue dans le portlandien de boyaux souterrains de plus de 80 mètres de longueur (tunnel de Baudonvilliers) pouvant jouer le rôle d'aqueduc presque sans communications latérales sur une partie notable de leur parcours.

Telle est la constitution hydrogéologique du bassin d'alimentation de la source de Fains : mélange d'eau d'infiltration à peu près filtrée par la terre végétale et les éboulis de surface, et d'eau de ruissellement absorbée par les bétouilles, et cette dernière ni filtrée ni clarifiée par décantation et de plus contaminée ; le tout circulant dans les fissures (diaclasses) du portlandien et constituant la pseudo-nappe aquifère dont la source de Fains constitue une des fortes émergences⁽¹⁾.

Si l'examen géologique, qui depuis 1910 prélude à tout projet d'amenée d'eau potable, avait été de règle en 1879 lorsqu'il fut question d'acquérir la source de Fains, l'avis du géologue eût été certainement défavorable : les détails qui précèdent le prouvent suffisamment.

Il me reste maintenant à exposer quels ont été pour la santé publique les résultats de cette amenée d'eau à Bar et comment la situation grave avant 1902 a été considérablement améliorée par l'initiative dévouée et intelligente de MM. Kuss et Ficatier qui, s'improvisant géologues, ont su voir la cause du mal et y porter remède dans les conditions les moins onéreuses pour la ville de Bar. Il m'est d'autant plus facile de les exposer que je n'y ai eu aucune part : lorsque la circulaire du 10 décembre 1900 a institué l'examen géologique au premier rang de toute instruction concernant les aménages d'eau potable, MM. Kuss et Ficatier avaient trouvé le remède : quand, plus tard, j'ai été appelé à émettre un avis, je n'ai eu qu'à approuver pleinement et, je tiens à le dire, à admirer la sagacité avec laquelle ces études avaient été conduites.

L'adduction des eaux de la source de Fains, décidée en 1879, fut mise à exécution en 1882 et 1883 : l'inauguration en eut lieu en juillet 1883. Pendant les dix-neuf années qui suivirent, la fièvre

(1) La circonstance qui a permis d'éliminer la contamination due au bétouille de la propriété Sainsère est *très probablement* celle-ci : à l'amont de Combles le bassin proprement dit n'est pas contaminé et ne reçoit que des eaux d'infiltration : le bétouille susdit ne devait communiquer qu'avec la rivière souterraine provenant de ce bassin.

typhoïde ne cessa de régner à Bar-le-Duc, accompagnée chaque année de décès. Cette série funeste attira l'attention de MM. Kuss et Ficatier ; ils surent deviner que la contamination devait avoir son origine dans l'évacuation des eaux ménagères de Combles, eaux souillées de purin, croupissant par endroits pendant la sécheresse puis entraînées en temps de pluie dans le béttoire de la propriété Sainsère. Les 25 et 26 janvier 1900, ils versèrent dans ledit béttoire 5 kilos de fluorescéine délayés dans 5 hectolitres d'eau de 8^h 45 à 9^h 15 du matin. La coloration apparut intense à la source de Fains à 3^h 15 de l'après-midi et persista jusque 8 heures du soir : la preuve était faite.

D'autres expériences prouvèrent que les béttoires de Véel ne communiquaient qu'avec la source des Éventails.

Sur la demande de MM. Kuss et Ficatier il fut décidé de dériver les eaux ménagères de Combles vers l'ouest. L'exécution du travail ne put être terminée qu'en décembre 1902, et, à partir de ce moment, la rigole fonctionna. Le résultat fut le suivant : alors que pendant dix-neuf ans on avait eu tous les ans à constater des décès par la fièvre typhoïde, et que ces décès s'étaient, en 1892, élevés au nombre de 30, *en 1903 il n'y en eut plus un seul*. Depuis cette amélioration si nette, si catégorique, a continué : non pas qu'il n'y ait pas encore de temps en temps des cas de typhoïde, mais ils sont en tous les cas beaucoup moins nombreux et d'un caractère beaucoup plus bénin.

Ces chiffres rendent tout commentaire inutile ; ils montrent une fois de plus combien, avant de se décider à capter une source, il est nécessaire de connaître dans quels terrains et à quelle profondeur elle a circulé avant de venir au jour ; de savoir quelle est son origine et quels dangers de contamination elle présente, renseignements que, seul, peut donner un examen géologique approfondi.

SUR LE

MÉCANISME D'ACTION

DE

Certains Agents thérapeutiques'

PAR

L. BRUNTZ

et

L. SPILLMANN

Chargé de Cours à l'École supérieure de Pharmacie

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine

DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

Dans un mémoire antérieur¹, nous avons montré que, chez les Invertébrés et chez les Vertébrés, l'élimination de toutes substances liquides étrangères à l'organisme (y compris celle des produits normaux d'excrétion) s'effectue en trois phases.

Pendant la première (*phase de fixation*), certaines formes de leucocytes prennent mécaniquement les produits à éliminer. Pendant la deuxième (*phase de transport*), les globules blancs conduisent les produits fixés à des organes excréteurs ouverts (reins et foie) ou clos (néphrophagocytes). Pendant la troisième (*phase d'excrétion*), les globules cèdent aux organes excréteurs les produits fixés. Par un mécanisme glandulaire, les cellules des reins ouverts rejettent ces produits directement au dehors, les cellules closes les concentrent dans leur cytoplasme.

Lorsque, accidentellement, l'organisme est mis en présence d'une quantité anormale de produits à éliminer, ces derniers sont rapidement fixés par les globules qui les transportent aux organes d'excrétion; dans le sang périphérique, on constate alors de l'hy-

1. Bruntz (L.) et Spillmann (L.), « Sur le mécanisme de l'action thérapeutique des injections de métaux colloïdaux » (*Réunion biologique de Nancy*, 10 février 1911).

2. *Bulletin de la Société des Sciences de Nancy* (t. XII, p. 5).

poleucocytose. Pour faire face aux besoins extraordinaires de l'organisme à ce moment, de nouveaux globules chargés de contribuer à l'élimination des substances étrangères sont mis en circulation; ce phénomène se traduit par de l'*hyperleucocytose*.

Le rôle de transport joué par certaines formes de leucocytes permet d'interpréter, comme nous allons le démontrer, le mécanisme d'action de certains agents thérapeutiques.

Quelques auteurs¹, Carles (1904) notamment, ont déjà tenté d'expliquer le mode d'action de certains médicaments en attribuant un rôle aux leucocytes transporteurs.

Ces éléments, dit-il, grâce à « leur vaste pouvoir d'absorption », fixent les substances introduites dans l'organisme et vont ensuite les déposer, soit au niveau de lésions (le mercure dans la syphilis), soit dans des organes où leur présence est nécessaire (le fer dans les organes hématopoiétiques, l'arsenic dans le corps thyroïde).

Nous croyons que la fonction éliminatrice des leucocytes permet aussi d'interpréter l'action d'un certain nombre de produits médicamenteux d'un usage courant en thérapeutique.

Ainsi, pour combattre les états adynamiques et pour lutter contre les infections, on emploie souvent en injections hypodermiques ou intraveineuses, l'éther, le camphre et, surtout maintenant, la série des métaux colloïdaux, entre autres l'argent colloïdal (collargol, électrargol, etc.). Jusqu'alors plusieurs explications ont été proposées pour rendre compte de l'action de ces divers médicaments. En ce qui concerne le collargol, Crédé (1897) qui, le premier, eut l'idée d'employer cette substance dans le traitement des maladies infectieuses, et d'autres auteurs comme Chiriac et Monnier-Vinard (1906), M^{lle} Cernovodeanu et Henry (1906), Charrin (1907), etc., attribuent son action curative à son pouvoir antiseptique. D'après Netter (1902), les bons effets constatés après usage de collargol pourraient s'expliquer soit par une neutralisation des toxines, soit par la stimulation des défenses de l'organisme.

Nous croyons que si le collargol et l'électrargol possèdent, *in vitro*, un pouvoir antiseptique vis-à-vis de différents micro-organismes, ce n'est pas à cette action qu'est due leur efficacité thérapeutique; car, *in vivo*, l'électrargol est saisi, comme les

1. Voir Carles, p. 139.

couleurs, presque instantanément, par les globules blancs. Il ne peut donc agir sur des parasites disséminés dans diverses régions du corps ou localisés loin de l'endroit où a été effectuée l'injection curative.

Nos expériences nous permettent de penser que l'électrargol, et les différents agents médicamenteux employés dans le même but, agissent réellement en exaltant le pouvoir défensif de l'organisme. Nous croyons que les globules blancs se comportent vis-à-vis des médicaments comme ils se comportent vis-à-vis des colorants que nous avons employés. Si cela est, on doit constater de même la fixation de ces médicaments par les globules et leur transport vers les organes d'excrétion. Or, ces phénomènes se traduisent, comme nous le savons, par de l'hypoleucocytose suivie d'hyperleucocytose, ces phénomènes successifs étant l'indice du rôle actif joué par les leucocytes dans l'élimination de toutes substances étrangères à l'organisme.

Après des injections effectuées dans un but thérapeutique, on a quelquefois constaté de l'hypoleucocytose et de l'hyperleucocytose, mais, à cause du peu de durée de la première, c'est la seconde, plus manifeste et plus durable, qui seule est généralement mentionnée. Aussi dit-on, à juste titre, que divers médicaments¹ employés en injections sous-cutanées ou intra-veineuses, possèdent une action nettement stimulante sur les processus leucocytaires.

Pour démontrer que les globules blancs se comportent exactement de la même manière vis-à-vis des substances colorantes et des agents médicamenteux, nous avons effectué une série d'expériences dont les résultats sont parfaitement démonstratifs. Nous en rapportons seulement deux.

Première expérience. — Un Lapin, âgé de six mois, reçoit dans la veine marginale de l'oreille une injection de 4 centimètres cubes d'électrargol; les numérations successives des leucocytes donnent les chiffres suivants :

27 avril (avant l'injection).	10,000
— (2 minutes après).	9,600
— (8 minutes après).	9,200
— (14 minutes après).	8,400
— (16 minutes après).	8,200

HYPOLEUCOCYTOSE

1. D'après Bezangon et Labbé (1904) ; le camphre (Binz, Limbeck), l'éther (Bernard, Meyer, Sengen), l'essence de térébenthine (Bauer), le collargol (Achard et Weil), etc.

27 avril (19 minutes après).	10,800
— (30 minutes après).	12,800
— (35 minutes après).	15,200
— (1 heure après).	28,600
HYPERLEUCOCYTOSE	
— (3 heures après).	18,500
— (7 heures après).	10,500

Deuxième expérience. — Au bout de huit jours, le même Lapin reçoit dans la veine marginale de l'autre oreille une injection de 2 centimètres cubes (deux fois moins que d'électrargol) d'une solution de carmin ammoniacal. Les résultats des numérations des globules blancs sont :

3 mai (avant l'injection).	8,000
— (10 minutes après).	6,800
— (13 minutes après).	6,000
— (19 minutes après).	5,600
— (29 minutes après).	4,000
HYPOLEUCOCYTOSE	
— (35 minutes après).	5,200
— (1 heure après).	7,600
— (1 ^h 30 après).	14,800
— (5 ^h 30 après).	19,200
HYPERLEUCOCYTOSE	
— (9 heures après).	16,300
— (17 heures après).	13,600
— (23 heures après).	8,800

Dans les deux cas, les résultats obtenus sont donc comparables; l'injection, à un même animal, à intervalles suffisamment éloignés, une première fois d'électrargol et une deuxième fois de carmin ammoniacal, donne d'abord de l'hypoleucocytose, puis de l'hyperleucocytose ¹.

La substance colorée possède donc la même action physiologique que l'électrargol, et si l'on tient compte de la dose injectée, elle s'est même montrée supérieure comme activité; sans nul doute, elle doit posséder le même rôle thérapeutique. Du reste, toutes les matières colorantes et toutes les substances injectées

1. Le délai d'apparition et l'intensité de l'hypoleucocytose et de l'hyperleucocytose varient suivant les expériences. Le délai d'apparition minimum a été, pour l'hypoleucocytose, de 8 minutes et, pour l'hyperleucocytose, d'une demi-heure; le délai maximum a été, pour l'hypoleucocytose, de 40 minutes et, pour l'hyperleucocytose, de 5 heures et demie. La rapidité des réactions leucocytaires est beaucoup plus grande avec l'électrargol qu'avec le carmin ammoniacal. En ce qui concerne l'excrétion de ce dernier produit par les organes rénaux, elle est relativement lente, ce qui concorde bien avec la moindre rapidité des phénomènes de fixation et de transport.

se comporteraient de même; nous n'en voulons comme preuve que la quantité des produits, si différents au point de vue chimique, qui ont été proposés pour favoriser la leucocytose : l'arsenic, la pilocarpine, l'éther, le nitrite malonique (Delezenne), la lécithine, la nucléine (Vaughan), l'essence de térébenthine (Nazarow), l'extrait de rate (Carpenter), l'extrait de moelle osseuse (Karczynski), etc.¹.

Les injections de sérum naturel ou artificiel doivent probablement aussi une partie de leur action thérapeutique à l'augmentation du nombre des globules blancs qui s'ensuit. Nous avons constaté nous-même, comme nous nous y attendions, qu'en injectant à des Lapins des solutions de sel marin à des titres divers, on obtenait régulièrement, au bout d'un certain temps, une hyperleucocytose manifeste. Les bons effets thérapeutiques observés à la suite des injections d'eau de mer (Quinton, 1904) et d'eaux minérales (Fleig, 1909) doivent être vraisemblablement interprétés de la même façon.

En résumé, le mode d'action des médicaments employés en injections dans le but de lutter contre les infections s'explique bien par la fonction éliminatrice que possèdent les globules blancs. C'est à l'hyperleucocytose consécutive à l'injection des métaux colloïdaux que l'on doit attribuer les bons effets thérapeutiques de ces médicaments. Le mécanisme de l'action thérapeutique s'explique par ce fait que les nombreux globules blancs néoformés débarrassent l'organisme des toxines microbiennes qui l'intoxiquent en les fixant pour les conduire aux organes d'excrétion².

1. D'après Schmitt (1902), p. 39a.

2. Chantemesse et Podwysotsky (1905) rapportent que les expériences de Löwit démontrent « qu'il suffit d'élever artificiellement, par le chauffage, la température d'un animal pendant 3 ou 4 heures pour voir monter le taux des leucocytes ». Or, à part de rares exceptions, on sait que dans tous les cas d'infections, l'organisme réagit par une élévation de la température. N'est-il pas logique de penser que ce phénomène provoque la leucocytose naturelle dans le but d'éliminer des toxines. La fièvre serait bien alors, sinon, comme on tend à l'admettre aujourd'hui, la réaction défensive, du moins la cause et la manifestation extérieure de la réaction leucocytaire défensive.

Il est vrai que Vincent (1902), Lesné et Dreyfus (1908), en chauffant des Cobayes à l'étuve, sont arrivés à des résultats contraires à ceux de Löwit. Il y a là, comme on le voit, une question controversée qui mériterait d'être approfondie par de nouvelles études afin de rechercher s'il y a bien, pendant les expériences de chauffage, leucolyse ou seulement hypoleucocytose dans le sang périphérique et hyperleucocytose dans le sang des organes.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1904. BEZANÇON (F.) et LABBÉ (M.). — Traité d'Hématologie. Paris.
1911. BRUNIZ (L.) et SPILLMANN (L.). — Sur le mécanisme de l'action thérapeutique des injections de métaux colloïdaux (*Réunion biologique de Nancy*, t. IX, p. 298).
1904. CARLES (J.). — Du rôle des leucocytes dans l'absorption et l'élimination des substances étrangères à l'organisme. Paris.
1906. CERNOVODEANU (M^{lle} P.) et HENRY (V.). — Action de l'argent colloïdal sur quelques microbes pathogènes (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LVIII, p. 122).
1905. CHANTEMESSE (A.) et PODWYSOTSKY (W.). — Les Processus généraux, t. II, Paris.
1907. CHARRIN (A.). — Étude expérimentale des propriétés thérapeutiques de l'argent colloïdal. Mécanisme de son action (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LXII, p. 84).
1906. CHIRIÉ et MONNIER-VINARD. — Étude expérimentale in vitro et in vivo de l'action de l'argent colloïdal électrique sur le pneumocoque (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LVIII, p. 673).
1897. CRÉDÉ (B.). — Silber als äusseres und inneres Antisepticum (*Archiv für klinische Chirurgie*, t. LV).
1909. FLEIG (C.). — Les eaux minérales, milieux vitaux. Paris.
1908. LESNÉ (E.) et DREYFUS (L.). — Influence de l'hyperthermie expérimentale sur la composition du sang (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LXIV, p. 370).
1902. NETTER. — Efficacité de l'argent colloïdal (collargol) dans le traitement des maladies infectieuses (*Société médicale des hôpitaux de Paris*, t. XIX, p. 1088).
1904. QUINTON (R.). — L'eau de mer, milieu organique. Paris.
1902. SCHMITT (J.). — Diagnostic et traitement des maladies infectieuses. Paris.
1902. VINCENT (H.). — Sur la leucolyse produite par l'hyperthermie expérimentale (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, t. LIV, p. 1085).

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

Séance du 1^{er} mars

Présidence de M. NICKLÈS

Présentation d'un nouveau membre. — M. l'abbé Mathieu, professeur à la Malgrange, présenté par MM. Nicklès et Joly.

Excuses. — M. Henry et M. Joly s'excusent de ne pouvoir assister à la séance.

COMMUNICATION

M. NICKLÈS : *Le niveau aquifère portlandien dans l'est de la France et ses dangers de contamination.*

Cette communication sera publiée *in extenso*.

Discussion. — M. Coppey signale l'analogie des plateaux portlandiens étudiés par M. Nicklès avec les plateaux du Jura, creusés aussi de nombreuses grottes et de nombreux *bétoires*, et rappelle l'habitude des habitants de jeter dans ces bétoires des cadavres d'animaux domestiques, ce qui est une cause fréquente de contamination des sources.

M. de Metz-Noblat signale l'utilité qu'il y aurait à boucher l'orifice de ces puits naturels et à établir dans des emplacements choisis des sortes de cimetières d'animaux. M. Cuif dit que pareille mesure a été prise dans le département du Doubs, où un règlement administratif prescrit l'enfouissement des animaux en des endroits déterminés. M. Nicklès fait remarquer que l'établissement d'un périmètre de protection autour des bétoires peut être prescrit par les géologues chargés de procéder à l'enquête précédant l'autorisation de capter les eaux d'une source pour l'alimentation d'une commune. Quant à l'obturation de ces bétoires, on l'a recommandée et essayée; mais on a dû y renoncer, car les effondrements incessants qui se produisent rendent l'entreprise infructueuse. D'ailleurs, la cause principale de contamination des eaux est la pénétration d'eaux pluviales ayant traversé des terres abondamment fumées.

Le Secrétaire annuel,
Ph. GUINIER.

Par suite d'un malentendu, la communication de M. Nicklès a été insérée dans le fascicule I (janvier-février).

Séance du 16 mars

Présidence de M. NICKLÈS.

La séance a eu lieu à l'Institut de géologie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

Correspondance. — M. le Dr H. Ziegler, de Winterthur, fait hommage à la Société d'un mémoire intitulé : *La vérité absolue et les vérités relatives*. Des remerciements seront adressés à l'auteur.

A propos de la demande d'échange formulée par le service géologique de Belgique qui offre l'échange contre sa *Bibliographia geologica*, la Société estime que de nouveaux renseignements sont nécessaires avant de prendre une décision.

Présentation d'un nouveau membre. — MM. Bruntz et Grélot présentent la candidature de M. le Dr L. Spillmann, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Nancy. M. Bruntz fera le rapport d'usage dans la prochaine séance.

Élection d'un membre titulaire. — Après le rapport verbal fait par M. Nicklès, la Société a élu à l'unanimité M. l'abbé Mathieu, professeur à la Malgrange, membre titulaire.

COMMUNICATION

M. NICKLÈS : *Le détroit bétique.* — M. Nicklès rappelle que le détroit de Gibraltar est de formation récente; qu'avant sa formation la Méditerranée communiquait avec les mers de l'Ouest par deux détroits, le détroit du Rif, au Maroc, et le détroit bétique, en Espagne. Il s'attache particulièrement à l'étude du détroit bétique et du rôle qu'il a joué pendant toute la durée du secondaire et une partie du tertiaire. A l'appui de cette conférence, une soixantaine de vues ont été projetées.

Le Secrétaire général,

P. GRÉLOT.

Séance du 1^{er} avril

Présidence de M. le Dr BENECH

Correspondance. — M. Nicklès, président, s'excuse de ne pouvoir assister à la séance.

L'Académie de Stanislas communique les programmes des concours

institué pour 1912 et 1913. En 1912 sera attribué le prix Dupeux, d'une valeur de 350 francs, réservé au meilleur ouvrage, manuscrit ou imprimé depuis le 1^{er} janvier 1902, qui aura été présenté sur un sujet de sciences (mathématiques, physiques et naturelles) ou de linguistique, se rapportant de préférence à la Lorraine.

La Station entomologique de la Faculté des sciences de Rennes propose l'échange de *Insecta*, revue illustrée d'entomologie, avec le *Bulletin* de la Société. La décision est ajournée jusqu'à ce que la Société ait reçu un numéro spécimen, qui est annoncé.

Admission d'un membre. — A la suite du rapport verbal de M. Bruntz, M. le Dr L. Spillmann est élu à l'unanimité membre de la Société.

COMMUNICATION

M. GRÉLOT : *Une fraude ingénieuse : le maquillage des truffes blanches.*

M. Grélot signale une fraude ingénieuse et difficile à atteindre, car elle peut se pratiquer au moment de l'emploi, avec la truffe blanche découpée en menus fragments que le cuisinier, le charcutier, etc. colorent eux-mêmes et mélangent ensuite à la véritable truffe noire. Cela supprime les approvisionnements compromettants. La coloration est obtenue au moyen d'un liquide vendu tout préparé et qui n'est autre chose qu'une solution de nigrosine (induline sulfonée) dans de l'eau additionnée d'alcool dénaturé.

Indépendamment des caractères histologiques qui permettent de caractériser la fausse truffe noire, M. Grélot indique un procédé qui consiste à enlever sa couleur à un fragment gros comme un pois et à fixer ensuite le colorant sur un fil de laine qui peut servir, en cas d'expertise, de pièce à conviction.

Discussion. — M. Le Monnier signale la substitution à la truffe du *Craterellus cornucopioides*, vulgairement appelé Trompette de la mort. Ce champignon, réduit en menus fragments, offre, grâce à sa coloration noire, le même aspect que la truffe ; son parfum et son goût sont d'ailleurs assez délicats.

Le Secrétaire annuel,
Ph. GUINIER.

LICHENS

RECUEILLIS

DANS LA NOUVELLE-CALÉDONIE OU EN AUSTRALIE

par le R. P. PIONNIER, missionnaire

ET DÉTERMINÉS

par M. l'abbé J. HARMAND

Un de mes amis, le R. P. Pionnier, Lorrain, missionnaire mariste, qui réside depuis fort longtemps à la Nouvelle-Calédonie, ayant bien voulu, sur mes instances, recueillir les Lichens qu'il a pu observer, dans ses courses apostoliques, et m'envoyer ses abondantes récoltes, je demande à la Société des Sciences de Nancy de vouloir bien permettre que je donne, dans son *Bulletin*, non pas seulement la simple liste, mais, lorsque je le croirai utile, la description des espèces dont j'ai constaté la présence dans cette riche moisson.

Je me propose, dans cette étude, à mesure que le temps me le permettra, de procéder par groupes isolés et bien déterminés, sans trop m'inquiéter de la place qu'ils peuvent occuper dans la systématique générale. Je commencerai par les *Pyrenocarpés*.

PYRÉNOCARPÉS

Apothécies angiocarpes, sans épithécium distinct, à thèques convergentes.

Tribu IV. — *Pyrenulés* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 381.

Thalle crustacé, étroitement appliqué, non figuré au bord.

Sous-tribu 3°. — *Verrucariés* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 398.

Porina Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 376.

Spores hyalines, divisées transversalement, à loges cylindriques; paraphyses libres.

1. *Porina fuscescens* sp. n.

Thalle brun-vineux-pâle, très mince, lisse, mat ou très peu luisant.

Apothécies noires, un peu brunâtres, entièrement recouvertes au moins par l'épiderme du substratum, convexes, saillantes, luisantes, couronnées par un pore ponctiforme, papilleux, ordinairement accompagné d'une légère dépression pâle, larges d'environ 0,5 millimètre, dispersées ou souvent rapprochées par groupes de 3 à 7, parfois confluentes; périthèce noir, entier; paraphyses capillaires, peu rameuses, libres; thèques allongées-fusiformes, à 8 spores hyalines, subfusiformes, à 12-17 cloisons transversales, placées sans ordre, $0,070-81 \times 0,008-15$.

Nouvelle-Calédonie, sur les écorces.

Fig. 1 : a, 1 thèque remplie; b, 1 paraphyse; c, 2 spores libres (1).

Thallus pallide fusco-vinosus, tenuissimus, lævis, opacus vel subnitidus.

Apothecia nigro-fuscescentia, integre thallo vel substrato obducta, sparsa vel 3-7 aggregata, raro confluentia, convexa, prominentia, nitida, apice leviter et pallide impressa, cum ostiolo punctiformi-papilloso, circa 0,5 millim. lata, perithecio nigro, integro; paraphysibus capillaribus, parum ramosis, subliberis; sporæ 8 næ, inordinatæ in ascis elongato-fusiformibus, hyalinæ, fusiformes, 12-17 transversim septatæ, $0,070-81 \times 0,008-15$.

Corticicola, in Nova-Caledonia.

2. *Porina mastoidea* Fée, *Ess. Crypt. écorces officin.*, p. 82, *pr. p.*

Pyrenula mastoidea Ach., *Syn.*, p. 122.

Verrucaria mastoidea Nyl., *Pyrenoc.*, p. 38.

Thalle mince, cendré-verdâtre-pâle, finement rugueux.

(1) A moins d'avis contraire, les figures sont d'après un grossissement de 320 diamètres.

Apothécies disséminées, presque entièrement incluses, dénudées seulement au sommet, où elles sont ordinairement brunes-noirâtres, formant un mamelon plus ou moins saillant, d'une largeur moyenne de 0,7 millimètre à la base ; paraphyses capillaires, comme dans l'espèce précédente ; thèques allongées-fusiformes, à 8 spores placées tantôt sans ordre, tantôt presque toutes sur un seul rang, hyalines, fusiformes, entourées d'un halo, à 5-9 cloisons transversales, longues de 0,058-85, et larges de 0,012-18, sans le halo ; les cloisons sont parfois inégalement espacées, plus rapprochées vers les bouts ; par I les thèques deviennent jaunes ainsi que leur contenu.

Sur les écorces dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 2 : a, 1 thèque remplie ; b, 2 spores libres.

3. *Porina chlorotera* Müll. *Lich. Beitr.*, n° 650.

Verrucaria chlorotera Nyl., *Syn. Lich. Nov.-Caled.*, p. 85.

Se distingue du précédent, dans les exemplaires que j'ai eus sous les yeux, par son thalle légèrement ochracé, un peu luisant, très peu rugueux, et par ses apothécies généralement assez pâles ou brunes et non noirâtres au sommet.

Müller (*l. c.*) ajoute comme caractérisant cette espèce des spores à cloisons extrêmes, au nombre de 3-4, beaucoup plus rapprochées que celles du milieu.

Avec le précédent, dans la Nouvelle-Calédonie.

4. *Porina interstes* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 40.

Verrucaria interstes Nyl., *Syn. Lich. Nov.-Caled.*, p. 84.

Thalle mince, cendré-verdâtre, luisant, finement rugueux-inégal, bordé par une ligne noirâtre-fuligineuse.

Apothécies entièrement recouvertes, convexes, saillantes, larges, à la base, de 0,5-0,8 millimètre, couronnées par un pore brunâtre, large de 0,2 millimètre ; avec le temps le thalle se noircit irrégulièrement autour du pore, et forme une tache, dont la largeur moyenne est de 0,3-0,4 millimètre ; périthèce assez épais, brunâtre, dans la moitié supérieure, sous forme d'une cupule mince, noire, dans la moitié inférieure ; paraphyses grêles, peu rameuses ; thèques très allongées, fusiformes, à 8 spores hyalines, fusiformes-subcylindriques, plus ou moins amincies aux

deux bouts, à 7 cloisons transversales; les jeunes spores n'ont souvent qu'une ou deux cloisons, longueur 0,034-64, largeur 0,004-7; l'iode rend les thèques et les spores jaunes.

Spermogonies noires-brunâtres; spermaties courtes, droites, un peu amincies à un bout, 0,003-4 $\times$ 0,001.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 3 : *a*, 1 thèque remplie; *b*, 3 spores isolées, dont 1 jeune.

5. *Porina hospita* sp. n.

Thalle carné-pâle, visible seulement à la base des apothécies où celles-ci se trouvent enchâssées : on distingue bien çà et là des taches d'excroissances coralloïdes de même couleur; mais il n'est pas sûr que ce soit là le thalle du présent Lichen.

Apothécies disséminées, larges à peine de 0,3 millimètre, convexes, carnées, brunâtres au sommet; paraphyses grêles, peu rameuses, semblables à celles des espèces précédentes; thèques subfusiformes, contenant 8 spores placées sur deux rangs, 5 sur un rang et 3 sur l'autre, incolores, fusiformes, amincies à chaque bout, ce qui les fait paraître un peu ventrues, à 7 cloisons, longues de 0,039-45, et larges de 0,009-12. Dans la Nouvelle-Calédonie, sur le thalle et les périthèces de *Rosellinia hypoxylina* Cesati.

Par la forme et les dimensions de ses spores, cette espèce se rapproche du *Porina nucula* Ach.; elle en paraît néanmoins distincte par ses apothécies moins larges. En tous cas son habitat la rend intéressante.

Porina hospita sp. n.

Thallus vix basi apotheciorum visibilis, carneopallidus.

Apothecia sparsa, vix 0,3 millim. lata, convexa, fusco-ostiolata; paraphyses graciles, parum ramosæ; asci subfusiformes, sporæ 8-næ, incolores, fusiformes, subacutæ, obesusculæ, biseriatae, 7-septatae, 0,039 — 45 $\times$ 0,009 — 12.

Supra thallum et apothecia Rosellinix hypoxylon Cesati, ad corticem arboris, in Nova-Caledonia.

6. *Porina Pionnieri* sp. n.

Thalle très mince, grisâtre-verdâtre, indéterminé, finement rugueux-subgranuleux. Apothécies saillantes, semi-globuleuses,

d'une largeur moyenne de 0,3-0,4 millimètre, enveloppées par le thalle et couronnées par un pore roussâtre, large à peine de 0,1 millimètre; périthèce brunâtre, dimidié; paraphyses capillaires, libres; thèques allongées-fusiformes, à 8 spores hyalines, aciculaires, droites, un peu amincies à un bout, à environ vingt cloisons transversales, $0,075-90 \times 0,0025$; par I les thèques et leur contenu deviennent jaunes.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Diffère du *Verrucaria raphidiophora* Nyl. (*Syn. Lich. Nov.-Cal.* p. 93), par son thalle rugueux-granuleux et par son périthèce pâle-brunâtre.

Fig. 4 : a, thèque vide; b, spore libre.

Porina Pionnieri sp. n.

Thallus tenuissimus, cinereo-virescens, effusus, ruguloso-subgranulosus.

Apothecia prominentia, semiglobosa, circa 0,3-0,4 millim. lata, thallo obducta ostioloque pallide rufidulo, 0,1 millim. lato coronata; perithecium dimidiatum, pallide fuscum; paraphyses graciles, liberæ; asci elongato-fusiformes; sporæ 8-næ, incolores, rectæ, aciculares, uno apice angustiores, circa 20-septatæ, $0,075 - 90 \times 0,0025$; iodo asci flavescunt.

Corticicola, in Nova-Caledonia.

A. *Verrucaria raphidiophora* Nyl., thallo ruguloso perithecioque pallido differt.

***Clathroporina* Müll. Lich. Beitr., n° 541.**

Spores hyalines, murales; paraphyses libres.

7. *Clathroporina eminentior* Müll. Lich. Beitr., n° 541.

Thelenella eminentior Nyl., *Exp. Lich. Nov.-Caled.*, p. 54.

Verrucaria eminentior Nyl., *Syn. Lich. Nov.-Caled.*, p. 86.

Thalle blanchâtre-olivâtre ou jaunâtre ou ochracé-pâle, plus ou moins rugueux-inégal ou rugueux-granuleux, K + brunâtre, K CaCl.—; gonidies jaunâtres-verdâtres-pâles, à membrane épaisse, subglobuleuses, un peu anguleuses, d'une largeur moyenne de 0,007.

Apothécies à moitié saillantes, convexes, complètement revêtues

par le thalle, couronnées ordinairement par un pore accompagné d'une légère dépression, subconcolore ou pâle-brunâtre ou roussâtre; périthèce entier, brunâtre-roussâtre; hypothécium rougeâtre-brunâtre; paraphyses capillaires libres, peu rameuses; spores ordinairement 6 dans chaque thèque, placées sans ordre, incolores, fusiformes, murales, $0,084-108 \times 0,027-30$.

Spermogonies pâles; spermaties très petites, oblongues, droites, $0,002 \times 0,0005$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 5 : a, thèque remplie; b, 3 spores libres; c, gonidies; d, spermaties.

Cette espèce paraît très variable dans tous ses caractères. Le *Cl. olivacea* Müll. *Lich. Beitr.* n° 542, n'en est, je crois, qu'une des nombreuses formes.

Arthopyrenia Müll. *Lich. Beitr.*, n° 612.

Spores hyalines, cloisonnées transversalement, à loges à la fin cylindriques; paraphyses unies plus ou moins étroitement.

8. *Arthopyrenia consobrina* Müll. *Lich. Beitr.*, n° 632.

Verrucaria consobrina Nyl., *Exp. Lich. Nov.-Caled.*, p. 53.

Thalle sous forme de tache blanche bordée par une ligne noirâtre.

Apothécies éparses, plus ou moins rapprochées, à moitié enfoncées dans le substratum, noires, convexes, un peu et irrégulièrement élargies à la base, larges de 0,3-0,4 millimètre dans la partie émergente; périthèce entier; paraphyses grêles; thèques cylindriques contenant 8 spores incolores, placées sur un seul rang, imbriquées, unicloisonnées, $0,026 \times 0,010-12$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 6 : a, thèque remplie; b, spore isolée.

9. *Arthopyrenia gemmulata* sp. n.

Thalle indiqué par une tache blanche ou roussâtre, indéterminé, lisse, mat. Apothécies nombreuses, rarement confluentes, noires, convexes, légèrement déprimées, un peu recouvertes à la base par l'épiderme blanc du substratum où elles sont comme enchâssées, larges de 0,3-0,4 millimètre; périthèce dimidié; paraphyses grêles, lâchement unies, peu rameuses; thèques

étroitement cylindriques contenant 8 spores placées sur un seul rang, incolores, oblongues, souvent plus renflées à un bout, entourées d'un halo très épais, unicloisonnées, $0,013-19 \times 0,0035-0,0045$, sans le halo ; hyménium I —.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 7 : a, spores ; b, thèque.

Cette espèce diffère du *Verrucaria vaga* Nyl. par son habitat et par la forme de ses apothécies arrondies et non allongées ; du *V. viridiseda* Nyl. par son périthèce dimidié et ses spores plus longues ; du *V. Tamarindi* Fée, dont elle est très proche, par ses spores moins larges et ses apothécies non réunies par groupes ; du *V. subprostans* Nyl. par ses spores moins larges ; du *V. punctiformis* DC. par ses apothécies plus grandes et ses paraphyses bien développées.

Arthopyrenia gemmulata sp. n.

Thallus albidus vel pallide rufescens, effusus, lævis, opacus.

Apothecia numerosa, raro confluentia, nigra, subdeplanato-convexa, basi substrati epidermide vestita, 0,3-0,4 millim. lata ; perithecium dimidiatum ; paraphyses grâciles, parum ramosæ, subliberæ ; asci anguste cylindrici ; sporæ 8-næ, uniseriatæ, hyalinæ, oblongo-fusiformes, sæpe uno apice attenuatæ, crasso halone indutæ, 1-septatæ, $0,013 - 19 \times 0,0035 - 45$, non computato halonis pariete ; hymenium I —.

10. *Arthopyrenia media* sp. n.

Thalle mince, blanchâtre ou légèrement ochracé, lisse, uni, très peu luisant, bordé par une ligne brunâtre suivant laquelle se trouvent ordinairement groupées des granulations brun foncé, saillantes, larges d'environ 0,1 millimètre, et paraissant être des spermogonies du Lichen ; mais je n'ai pu y trouver de spermatis.

Apothécies nombreuses, isolées ou confluentes, noires, convexes, à demi saillantes, recouvertes irrégulièrement, à la base, par le thalle, ce qui les fait paraître crénelées ou lobulées, souvent allongées dans le sens transversal de la branche qui les porte, larges de 0,5-0,8 millimètre ; périthèce entier, mais aminci en dessous ; paraphyses capillaires, très lâchement unies, peu rameuses ; hyménium I — ; thèques cylindriques, très longues,

jusque 0,270, contenant 8 spores placées sur un seul rang, imbriquées, hyalines, unicloisonnées, un peu resserrées au milieu, subfusiformes, $0,026-33 \times 0,006-8$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 20 : a, thèque remplie; b, spore isolée.

Diffère du *Verrucaria epidermidis* Ach. par ses paraphyses bien développées, son périthèce entier et ses spores plus longues; du *V. antecellens* Nyl. par ses spores un peu moins longues, ses apothécies plus grandes et ses paraphyses; du *V. consobrina* Nyl. par ses spores plus étroites.

Arthopyrenia media sp. n.

Thallus albidus vel pallide flavescens, tenuis, lævis, subopacus, linea fuscescente cinctus juxta quam granuli fusco-brunnei, circa 0^{mm}1 lati (an spermogonia?) glomerantur.

Apothecia numerosa, segregata vel confluentia, nigra, convexa, prominula, basi inæqualiter thallo obducta, unde specie crenulata vel lobulata, sæpe supra ramos arborum transverse paululum elongata, 0,5-0,8 millim. lata; perithecium integrum, infra attenuatum; paraphyses graciles parum ramosæ, subliberæ; asci cylindrici, usque ad 0,270 millim. elongati; sporæ 8-næ, uniseriatæ, imbricatæ, hyalinæ, 1-septatæ, medio paulum constrictæ, subfusiformes, $0,026 - 33 \times 0,006-8$; hymenium I—.

Corticicola, in Nova-Caledonia.

11. Arthopyrenia subvaga sp. n.

Thalle très mince, blanchâtre, un peu brunâtre, lisse, uni.

Apothécies noires, luisantes, peu saillantes, déprimées, régulièrement arrondies, un peu recouvertes à la base par l'épiderme du substratum, couronnées par un pore bien visible, à fond blanchâtre, larges de 0,3-0,5 millimètre; périthèce dimidié-tectiforme; paraphyses rameuses, lâchement unies, thèques cylindriques à 8 spores placées sur un seul rang, hyalines, unicloisonnées, un peu plus épaisses à un bout, $0,013 \times 0,004$; hyménium I + un peu jaune, surtout les thèques et leur contenu.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 21 : a, coupe d'une apothécie (gross. 9); b, 2 spores isolées.

Diffère du *Verrucaria vaga* Nyl., dont il est voisin par ses

apothécies régulières et par ses spores plus petites ; du *V. punctiformis* par ses spores plus petites et par ses paraphyses.

***Arthopyrenia subvaga* sp. n.**

Thallus tenuissimus, albidus, pallide fuscescens, lævis.

Apothecia nigra, nitida, deplanato-convexa, orbicularia, basi substrato paulum immersa, vertice umbilicato cum poro dealbato, 0,3-0,5 millim. lata; perithecium dimidiatum, tectiforme; paraphyses ramosæ, laxè intricatæ; asci cylindrici, sporæ 8-næ, uniseriatæ, hyalinæ, 1-septatæ, uno apice paulum attenuatæ, $0,013 \times 0,004$; hymenium I + flavidum præsertim thecæ.

Corticicola in Nova-Caledonia.

12. *Arthopyrenia diluta*.

Verrucaria diluta Fée., *Ess. Suppl.*, p. 85.

Pseudopyrenula diluta Müll., *Lich. Beitr.*, p. 602.

Verrucaria Cinchonæ Nyl., *Pyrenoc.*, p. 57.

Thalle blanchâtre-glaucue, un peu floconneux-pulvérulent.

Apothécies éparses, noires, entièrement recouvertes ou, à la fin, un peu dénudées au sommet, où elles sont couronnées par un pore très petit, très peu déprimé, larges environ de 0,5 millimètre; périthèce entier, tronqué et aminci à la base, noir-brunâtre; paraphyses grêles, peu rameuses, libres; thèques allongées-cylindriques contenant 8 spores placées sans ordre, hyalines, fusiformes, à 3 cloisons transversales, à loges d'abord subglobuleuses, à la fin cylindriques, $0,024-30 \times 0,007-9$; hyménium I + un peu jaune.

Spermogonies noires, ponctiformes; spermaties cylindriques, droites, $0,004-5 \times 0,001$ à peine.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 19 : a, thèque remplie; b, 2 spores isolées.

Pyrenula Fée, *Ess. Crypt. écorces exot. officin. Suppl.*, p. 76.

Spores brunes, cloisonnées transversalement, à loges simples, lenticulaires.

13. *Pyrenula sexlocularis* Müll. *Lich. Beitr.*, n° 58.

Verrucaria sexlocularis Nyl., *Prodr. Nov. Granat.*, p. 118, in notula.

Verrucaria aspistea Nyl., *Lich. exot. Bourb.*, p. 261.

Thalle blanchâtre ou plus ou moins jaune, très mince, lisse, continu, un peu gras-luisant, indéterminé.

Apothécies noires, nombreuses, parfois confluentes, à moitié émergentes, un peu recouvertes à la base par l'épiderme du substratum, convexes, arrondies, ne dépassant guère 0,3 millimètres en largeur; périthèce entier; paraphyses capillaires, peu rameuses, lâchement unies; thèques allongées-subcylindriques, contenant 8 spores placées toutes, ou la plupart, sur un seul rang, imbriquées, brunes, à 5 cloisons transversales, à loges ovoïdes, le grand axe étant dirigé parallèlement aux cloisons, $0,023-34 \times 0,009-12$; hyménium I + rougeâtre pâle.

Spermogonies brunâtres-pâles, peu saillantes; spermaties ovoïdes, $0,0015 \times 0,0005$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 8 : a, thèque remplie; b, 2 spores; c, spermaties.

14. *Pyrenula nitidella* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 414.

Verrucaria nitida var. *nitidella* Flk., *Deutsch. Lich.*, n° 10.

Verrucaria nitida var. *minor* Leight., *Lich. Brit. exs.*, n° 28.

Thalle très mince, ochracé-pâle, lisse, mat.

Apothécies assez nombreuses, non confluentes, d'abord complètement voilées et assez peu saillantes, puis plus ou moins dénudées au sommet, où elles sont noires, subtronquées, couronnées par un pore déprimé, entouré d'un bord saillant, large d'environ 0,2 millimètre; les apothécies bien développées ont 0,3-0,4 millimètre de diamètre; paraphyses simples, libres; thèques allongées contenant 8 spores brunes, placées sans ordre, parfois sur un seul rang, ellipsoïdes, à 3 cloisons transversales, à loges subglobuleuses, les deux du milieu étant plus grandes, $0,029-30 \times 0,012$; hyménium I + jaune, surtout les thèques.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 9 : a, thèque remplie; b, 2 spores mûres.

15. *Pyrenula aspistea* Ach. *Syn.*, p. 123.

Verrucaria aspistea Ach., *Meth.*, p. 121.

Verrucaria dermatodes Borr., *E. Bot. Suppl.*, tab. 2.607, fig. 2.

Thalle brunâtre-verdâtre, très pâle, lisse, mat.

Apothécies dispersées ou plus ordinairement rapprochées par groupes plus ou moins fournis, entièrement exsertes, plus ou moins saillantes, convexes ou subconiques, larges à la base de 0,5-0,7 millimètre, nues, luisantes surtout au sommet, où elles

sont percées d'un pore très visible, mais large à peine de 0,05 millimètre; périthèce entier, aminci et aplati à la base; paraphyses capillaires, simples ou peu rameuses, libres; thèques allongées-subcylindriques contenant 8 spores brunes, placées sans ordre ou sur un seul rang, à 3 cloisons transversales, les deux loges extrêmes étant plus petites, $0,017-19 \times 0,0075-9$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 10 : *a*, 2 thèques remplies, dont l'une accompagnée de paraphyses; *b*, 3 spores; *c*, 2 coupes d'apothécies.

16. *Pyrenula marginata* Trev. *Caratt.* (1853), p. 13.

Verrucaria marginata Nyl., *Pyrenoc.*, p. 45, *pr. p.*

Thalle mince, grisâtre, un peu brunâtre, uni.

Apothécies noires, d'abord déprimées et en partie recouvertes par l'épiderme du substratum, puis saillantes, moins déprimées ou même semi-globuleuses ou subconiques, peu recouvertes à la base, luisantes, couronnées ordinairement par un pore, sous forme de dépression blanchâtre, large de 0,2 millimètre, larges de 0,7-0,9 millimètre; paraphyses capillaires, libres, généralement simples; thèques allongées, à 8 spores placées sans ordre, brunâtres, longuement ellipsoïdes, à 3 cloisons, à loges subglobuleuses, souvent plus larges à un bout, à épispore bien visible épais d'environ 0,002, $0,033-37 \times 0,012-15$; par 1 les thèques deviennent un peu jaunes.

Spermogonies nombreuses, noirâtres, gyalectiformes, larges de 0,18 millimètre; spermaties cylindriques, droites, $0,009 \times 0,001$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 11 : *a*, thèque remplie; *b*, 3 spores; *c*, spermaties.

Diffère du *P. nitida* par ses apothécies plus dénudées et surtout par ses spermaties droites; du *P. mamillana* et du *P. Kunthii* par ses spores plus grandes.

17. *Pyrenula Kunthii* Fée, *Ess. Crypt. écorces officin.*, p. 80.

Thalle brunâtre-olivâtre, très pâle, uni, un peu luisant.

Apothécies noires, arrondies, exsertes ou un peu recouvertes à la base, peu saillantes, déprimées, mais un peu mamelonnées, mates, larges de 0,9-1,3 millimètre, éparses; périthèce noir, entier, aplati à la base; paraphyses grêles, simples, libres;

thèques cylindriques contenant 8 spores brunes, placées sur un seul rang, imbriquées, mais assez souvent les deux extrêmes se trouvent hors de l'alignement, à 3 cloisons, à loges sublenticulaires, $0,021-24 \times 0,009-10$; par l'hyménium, y compris les thèques, prend une couleur jaunâtre très pâle.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 12: *a*, 2 thèques remplies; *b*, 2 spores; *c*, coupes d'apothécies (gross. 9).

18. *Pyrenula mamillana* Trev. *Consp. Verr.* (1860), p. 13.

Verrucaria mamillana var. *Santensis* Tuck., *Gen.*, p. 274.

Verrucaria mamillana Ach., *Meth.*, p. 120.

Verrucaria marginata var. *Santensis* Nyl., *Lich. Nov. Granat.*, ed. 11 (1863), p. 248.

Verrucaria Santensis Tuck. in Nyl., *Pyrenoc.*, p. 45.

Thalle brunâtre-pâle, brun plus foncé à la périphérie, où il est bordé par une ligne noirâtre, uni, mat.

Apothécies de même forme, mais un peu plus petites que celles du *P. Kunthii*, d'une largeur moyenne de 0,7 millimètre, parfois rapprochées ou même en partie confluentes. Le reste comme chez le précédent.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Les exemplaires que j'ai eus sous les yeux appartiennent à la var. *subconfluens* Wain. *Etud. Classif. nat. et Morphol. Lich. Brésil* II, p. 202 ; apothécies en partie confluentes.

19. *Pyrenula segregata* Müll. *Lich. Beitr.*, n° 1212.

Verrucaria aggregata f. *segregata* Nyl., *Syn. Lich. Nov.-Caled.*, p. 89.

Thalle blanchâtre ou blanchâtre-ochracé, très pâle, lisse, mat.

Apothécies éparses, noires, d'abord peu saillantes et entièrement recouvertes par l'épiderme du substratum, puis saillantes, convexes-déprimées, plus ou moins dénudées au sommet, où le pore est à peine visible, larges de 0,3-0,4 millimètre ; périthèce noir, entier ; paraphyses grêles, libres ; thèques subcylindriques, contenant 8 spores brunes, placées sans ordre, à 3 cloisons, à loges sublenticulaires, $0,0135-14 \times 0,005-6$; hyménium I + jaune, surtout les thèques.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 13: *a*, thèque remplie, à 7 spores; *b*, 2 spores libres.

20. *Pyrenula glabrata* Nyl. *Pyrenoc.*, p. 47.

Thalle blanchâtre, indéterminé, uni.

Apothécies éparses, noires, presque entièrement exsertes ou très peu recouvertes à la base, saillantes, convexes, larges de 0,6-0,7 millimètre; périthèce noir, entier; paraphyses capillaires libres; thèques allongées, contenant 8 spores placées sur 2 rangs, imbriquées, brunâtres, longuement ellipsoïdes, à 3 cloisons transversales, à loges largement lenticulaires, $0,019-26 \times 0,006-10$, souvent altérées; hyménium I + jaunâtre-pâle, surtout les thèques.

Sur les écorces dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 14 : a, thèque jeune remplie; b, 2 spores.

21. *Pyrenula subglabrata* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 410.

Thalle blanchâtre, bordé par une ligne noirâtre, uni.

Apothécies noires, larges d'environ 0,6 millimètre, déprimées, peu saillantes, longtemps couvertes par l'épiderme du substratum, à la fin plus ou moins dénudées, mates, couronnées par un pore très visible qui s'élargit peu à peu, jusqu'à ce que l'apothécie soit vidée; périthèce noir, entier; paraphyses grêles; spores brunes ou presque incolores, à 3 cloisons transversales, $0,022 \times 0,009$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Diffère du *P. glabrata*, dont il est voisin, par son thalle déterminé, par ses apothécies moins saillantes et moins dénudées; il se rapproche aussi du *P. glabrata* var. *microcarpa* Hepp; mais ses apothécies sont un peu plus grandes.

22. *Pyrenula hypophytoides* sp. n.

Thalle verdâtre-rougeâtre-pâle, lisse.

Apothécies profondément enfoncées dans le substratum, peu visibles à l'extérieur par de faibles proéminences, noires; périthèce entier, atteignant au plus 0,5 millimètre en diamètre; paraphyses capillaires, libres; thèques allongées en massue, contenant 6-8 spores brunes, placées la plupart ou rarement toutes sur un seul rang, à 3 cloisons, à logettes lenticulaires, puis subcylindriques, $0,021-25 \times 0,010-13$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 15 : a, 2 thèques remplies; b, 2 spores isolées.

Diffère du *Verrucaria punctella* Nyl. *Pyrenoc.*, p. 46, par ses apothécies invisibles et par ses spores plus petites; du *V. hypophyta* Nyl. *Prodr. Fl. Nov. Gran.*, p. 250, par ses spores plus longues.

Est-ce le *P. cerina* Eschw.? Les spores et les apothécies conviennent assez; mais n'ayant pas vu ce Lichen, je n'ose rien affirmer.

***Pyrenula hypophytoides* sp. n.**

Thallus pallide viridi-rufescens, lævis.

Apothecia substrato integre immersa, solum protuberantiis thalloideis lævissimis vel obsoletis extus visibilia; nigra, 0,5 millim. lata; perithecium integrum, nigrum; paraphyses graciles, liberæ; asci elongato-obovati; sporæ 8-næ, subuniseriatæ, raro uniseriatæ, fuscæ, 3-septatæ, loculis primum lenticularibus, demum subcylindricis, 0,021 — 25 × 0,010 — 13.

Corticicola, in Nova-Caledonia.

***Anthracothecium* Mass. *Esam. comp.*, p. 49.**

Spores brunes, murales.

23. *Anthracothecium pyrenuloides* Müll. *Lich. Afr. occid.*, n° 52.

Erypethelium pyrenuloïdes Mont., in *Ann. Sc. nat.* (1843), p. 69.

Verrucaria pyrenuloïdes Nyl., *Pyrenoc.*, p. 44.

Thalle indiqué par une tache blanchâtre ou grisâtre.

Apothécies d'abord entièrement couvertes, à la fin plus ou moins dénudées, noires, convexes, couronnées par un pore accompagné d'une dépression, pouvant atteindre 0,3 millimètre en largeur, larges, à la base, de 0,4-0,6 millimètre; périthèce entier; thèques contenant 8 spores ou moins, brunes, ovoïdes-ellipsoïdes, à 7-12 cloisons transversales, avec 2-4 logettes dans chaque compartiment, 0,040-88 × 0,017-32; hyménium I + rougeâtre.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 16 : 1 spore.

24. *Anthracothecium libricolum* Müll. *Lich. Afr. occid.* ad n° 52.

Pyrenula libricola Fée, *Suppl.*, p. 82.

Pyrenula aspistea Fée, *l. c.*, p. 83.

Verrucaria aspistea Nyl., *Pyrenoc.*, p. 43.

Verrucaria libricola Nyl., *Syn. Lich. Nov.-Caled.*, p. 87.

Diffère du précédent surtout par la taille de ses spores, qui sont ordinairement à 8 cloisons, et qui mesurent 0,036-58 sur 0,012-21.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 17 : *a*, thèque remplie; *b*, 2 spores, dont l'une vieille et l'autre jeune.

25. *Anthracothecium confine* Müll. *Lich. Afr. occid.*, p. 45.

Verrucaria confinis Nyl., *Addit. Chil.*, p. 174.

Thalle blanc, lisse.

Apothécies éparses, noires, peu saillantes, déprimées, larges de 0,3 millimètre, longtemps entièrement recouvertes, à la fin un peu dénudées au sommet, où elles sont couronnées par un pore atteignant à peine 0,1 millimètre en largeur; périthèce entier; paraphyses capillaires, libres; théques longuement fusiformes, souvent un peu renflées au milieu, contenant 8 spores placées sans ordre ou rarement sur un seul rang, brunes, ovoïdes, à 3 cloisons, les deux loges extrêmes ayant 1 ou 2 logettes, les deux médianes 2 ou 3, parfois l'une en a 2 et l'autre 3, 0,017-18 $\times$ 0,009-10.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 18 : *a*, thèque remplie; *b*, spore isolée.

Microthelia Krb. *S. L. G.*, p. 372.

Spores brunes, cloisonnées transversalement, à loges non lenticulaires.

26. *Microthelia elata* sp. n.

Thalle très mince, blanc, légèrement rosâtre, à surface un peu floconneuse.

Apothécies noires, éparses, parfois contiguës, arrondies ou un peu allongées dans le sens des fibres du substratum, dénudées, un peu recouvertes à la base par l'épiderme du substratum, sans y être élargies, très convexes, plus ou moins rugueuses, mates, parfois striées, dans le sens des fibres du substratum, ordinairement couronnées par un pore papilleux, accompagné d'une légère dépression, larges de 0,4-0,7 millimètre; périthèce noir, dimidié; paraphyses bien développées, simples ou peu rameuses, libres;

thèques allongées, contenant 8 spores d'abord hyalines, puis noirâtres, unicloisonnées, placées en partie sur 2 rangs, $0,018 \times 0,007-0,0075$; l'iode rend jaunes les thèques.

Spermogonies assez nombreuses, noires, peu saillantes, recouvertes en partie; spermaties bacillaires, droites, $0,004-5 \times 0,0008$.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 22 : *a*, thèque remplie; *b*, spore isolée.

Microthelia elata sp. n.

Thallus albus, pallide roseus, tenuissimus, paulum floccidus.

Apothecia nigra, sparsa, raro contigua, orbicularia vel supra ramos transverse subelongata, nudata, basi vero substrati epidermide paulum oblecta, convexo-semiorbicularia, rugosa, secundum substrati fibras nonnunquam striatula, vertice cum poro papilloso subdepressa, 0,4-0,7 millim. lata; perithecium nigro-dimidiatum; paraphyses graciles, simplices vel parum ramosæ, liberæ; asci elongati; sporæ 8-næ, subbiserialæ, primum hyalinæ, demum nigrescentes, 1 — septatæ, $0,018 \times 0,007-0,0075$; hymenium I + flavidum, præsertim thecæ.

Spermogonia satis numerosa, nigra, parum prominentia, partim induta; spermatia bacillaria, recta, $0,004-5 \times 0,0008$.

Corticicola, in Nova-Caledonia.

27. *Microthelia hemisphærica* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 417.

Thalle cendré-brunâtre, très pâle, uni.

Apothécies noires, saillantes, semi-globuleuses, subconiques, larges de 0,5-0,7 millimètre, très peu couvertes à la base par l'épiderme du substratum, luisantes au sommet, où elles sont couronnées par un pore très petit, large d'environ 0,1 millimètre; périthèce entier, mais très aminci en dessous; paraphyses capillaires, simples ou peu rameuses; thèques allongées-subcylindriques, contenant 8 spores placées sans ordre, entièrement noirâtres, unicloisonnées, allongées-ellipsoïdes, souvent amincies à un bout, et rétrécies au milieu, à épispore très peu visible, les deux loges se séparant facilement, $0,027 \times 0,009-10$, par 1 les thèques et leur contenu deviennent jaunes.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie.

Fig. 23 : *a*, thèque remplie; *b*, 2 spores, dont l'une à loges se séparant; *c*, coupe d'une apothécie (gross. 9).

Sous-tribu 4^e. — *Trypéthéliés* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 389.

Thalle crustacé, mince ; plusieurs apothécies réunies dans des verrues thallines appelées *stromes*, plus ou moins distinctes du reste du thalle, par leur couleur, leur forme et leur nature ; chaque apothécie ayant un ostiole distinct et conservant une direction droite, perpendiculaire à la surface du *stroma*.

Trypethelium Trevis. *Syn. Tryp.*, p. 19.

28. *Trypethelium tropicum* Müll. *Pyrenoc. Cub.*, p. 393.

Verrucaria tropica Ach., *L. U.*, p. 278.

Verrucaria Gaudichaudii Fée, *Ess.*, p. 87, tab. XXII, fig. 4.

Pseudopyrenula tropica Müll., *Lich. Beitr.*, n^o 602.

Thalle jaunâtre, lisse, finement pulvérulent, présentant la consistance de la corne. Stromes peu distincts, sous forme d'inégalités du thalle ou du substratum ; apothécies presque entièrement exsertes, très nombreuses, contiguës, noires-fuligineuses, rugueuses, semi-globuleuses-subconiques, larges à la base de $\frac{1}{8} - \frac{1}{6}$ millimètre ; périthèce noir, entier ; paraphyses capillaires, lâchement unies ; thèques allongées en massue, contenant 8 spores hyalines, placées sans ordre, allongées-fusiformes, à 4 loges sublenticulaires, $0,025-27 \times 0,007-0,0075$.

Spermogonies ponctiformes, noires ; spermatics bacillaires, cylindriques, droites, $0,0045-6 \times 0,001$.

Sur les écorces, dans l'Australie.

Fig. 24 : a, thèque remplie ; b, spore isolée.

Selon la remarque de Müller (*l. c.*), les stromes, dans cette espèce, ne sont bien distincts qu'à l'état jeune du Lichen. Avec l'âge, ils s'allongent et deviennent confluent, d'où plusieurs lichénologues ont vu un Verrucarié au lieu d'un Trypéthélié.

29. *Trypethelium platystomum* Mont. *Ann. Sc. Nat.*, 2^e série, t. XIX, p. 72.

Tr. anomalum Ach., *Syn.*, p. 105.

Thalle cendré-brunâtre ou blanc par places, légèrement pruinéux, creusé en tous sens par de fins sillons rameux-arborisés.

Stromes saillants, larges de 1 à 2 millimètres, non ou peu

affaîssés à la base, concolores au thalle, de forme et de grandeur irrégulières, écartés ou contigus ou subconfluents, contenant 1 à 11 apothécies, jaunes-ocreux, K + violet en dedans; apothécies dénudées et noires — peu brunâtres au sommet, où elles atteignent 0,5 millimètre en diamètre, et sont souvent munies d'un pore large d'environ 0,2 millimètre; périthèce noir, entier; paraphyses capillaires, peu rameuses; thèques allongées en massue, contenant 8 spores hyalines, fusiformes, placées sur 2 rangs, à 10-11 loges sublenticulaires, puis cylindriques, celles du milieu étant plus grandes que les autres, munies d'abord d'un halo, qui n'est plus guère visible à la fin, $0,045-60 \times 0,0095-14$.

Sur les écorces, dans l'Australie.

Fig. 26 : 2 spores.

Müller (*Lich. Beitr.* n° 845), fait remarquer avec raison que *platystomum* doit être préféré à *anomalum*, bien que celui-ci ait la priorité; ce Lichen en effet n'a rien d'anormal.

30. *Trypethelium eluteriæ* Spreng. *Einl. zur Kenntn. Gew.* (1804), p. 351.

Tr. Sprengelii Ach. *L. U.*, p. 306.

Pseudopyrenula eluteriæ Wain., *Et. Classif. et Morphol. Lich. Brés.*, II, p. 204.

Thalle jaunâtre-ochracé, gras-luisant, lisse; avec le temps le jaune disparaît et fait place au cendré-blanchâtre, sur lequel on remarque bientôt la surface subcotonneuse et les sillons arborisés que nous avons observés dans l'espèce précédente.

Stromes saillants, convexes-subglobuleux, non affaîssés à la base et même resserrés en dessous, d'un brun plus ou moins foncé tranchant sur le thalle, luisants, larges de 0,5-2 millimètres, jaunes en dedans, où ils deviennent violets par K, contenant jusqu'à 11 apothécies visibles seulement par un pore plus ou moins ouvert, d'abord papilleux et accompagné d'une légère dépression; périthèce globuleux, entier, noir, atteignant 0,8 millimètre de diamètre; paraphyses capillaires, libres, peu rameuses; thèques allongées, à 8 spores fusiformes, hyalines, placées sans ordre, à 8-14 loges d'abord lenticulaires, puis cylindriques, analogues à celles du *Tr. platystomum*, mais moins grandes, $0,038-45 \times 0,0075-8$, sans halo distinct; hyménium I + jaune-orangé.

Sur les écorces, dans l'Australie.

Fig. 25 : a, spore jeune; b, spore adulte.

31. *Trypethelium medians* sp. n.

Thalle mince, cendré, prumineux, brunâtre par places, vaguement limité par une bande brunâtre d'une largeur moyenne de 1 millimètre, parcouru en tous sens par des sillons arborisés, comme dans les espèces précédentes.

Stromes noirâtres, très peu rougeâtres, très saillants, non affaissés à la base, où ils sont parfois un peu resserrés, semi-globuleux ou peu allongés, non ou peu déprimés au sommet, larges de 0,6-1,5 millimètre, séparés ou contigus ou confluent, citrins-ochracés et devenant violets par K à l'intérieur, contenant des apothécies ordinairement nombreuses, visibles seulement par un pore, sous forme de dépression qui peut s'élargir et laisser voir l'hyménium; périthèce globuleux ou ovoïde, noirâtre, entier; paraphyses capillaires, peu rameuses, lâchement unies; thèques allongées, contenant 8 spores hyalines, fusiformes, munies d'un halo, à 8-14 cloisons, à loges cylindriques, $0,033-45 \times 0,009-11$, y compris le halo; hyménium I + jaune vif, surtout les thèques.

Sur les écorces, dans l'Australie.

Fig. 27: a, thèque remplie; b, spore mûre.

Trypethelium medians sp. n.

Thallus cinereo-pruinosis, passim fuscescens, zona fuscescente circa 1 millim. lata limitatus, gracillime irregulariterque striatus.

Stromata nigra, subrubella, convexo-semiglobosa vel paulum elongata, interdum basi parum constricta, vertice non vel paulum depressa, 0,6-1,5 millim. lata, sparsa vel contigua aut confluentia, intus citrino-ochracea, K + violascentia; apothecia singulis stromatibus sæpius numerosa, extus solo poro depresso tandem dilatato visibilia; peritheciis globulosum vel ovoideum, nigrum, integrum; paraphyses graciles, parum ramosæ, subliberæ; asci elongati; sporæ 8-næ, subbiseriatæ, hyalinæ, fusiformes, halone indutæ, 8-14 septatæ, loculis cylindricis, $0,033-45 \times 0,009-11$, computato halone; hymenium I læte flavescens, præsertim thecæ.

Corticicola, in Australia.

Sect. *Melanotheca* Müll.

Spores brunes, cloisonnées transversalement, à loges lenticulaires.

32. *Trypethelium cruentum* Mont. *Cent. I, plant. cellul. exot.*, n° 30, in *Ann. Sc. nat.*, 2^e série, t. XIX, p. 93.

Stromatothelium cruentum Trev., *Syn. Trypeth.*, p. 20.

Verrucaria circumrubens Nyl., *Syn. Lich. Nov.-Caled.*, p. 89, *probabilis*.

Pyrenula circumrubens var. *erythrinosa* B. de Lesd., in *Bullet. Soc. bot. Fr.*, t. LVII, p. 463.

Thalle rouge-sang ou écarlate ou rose ou cendré, souvent ces couleurs mêlées, les stromes sont presque toujours d'un rouge-sang vif, ordinairement creusé en tous sens de petits sillons irréguliers et très grêles ; à surface un peu pulvérulente, par l'application de la potasse le rouge passe au violet foncé.

Stromes saillants, anguleux-difformes, contenant 1 à 5 apothécies visibles par leur sommet noir, couronné d'un pore papilleux, à la fin plus ou moins ouvert ; périthèce noir, entier ; paraphyses capillaires, peu rameuses, très lâchement unies ; thèques allongées-cylindriques, contenant 8 spores brunâtres ou brunes, placées ou non sur un seul rang, imbriquées, à 4 loges lenticulaires, $0,023-33 \times 0,012-15$; hyménium I + jaune, surtout les thèques.

Sur les écorces, dans la Nouvelle-Calédonie et dans l'Australie.

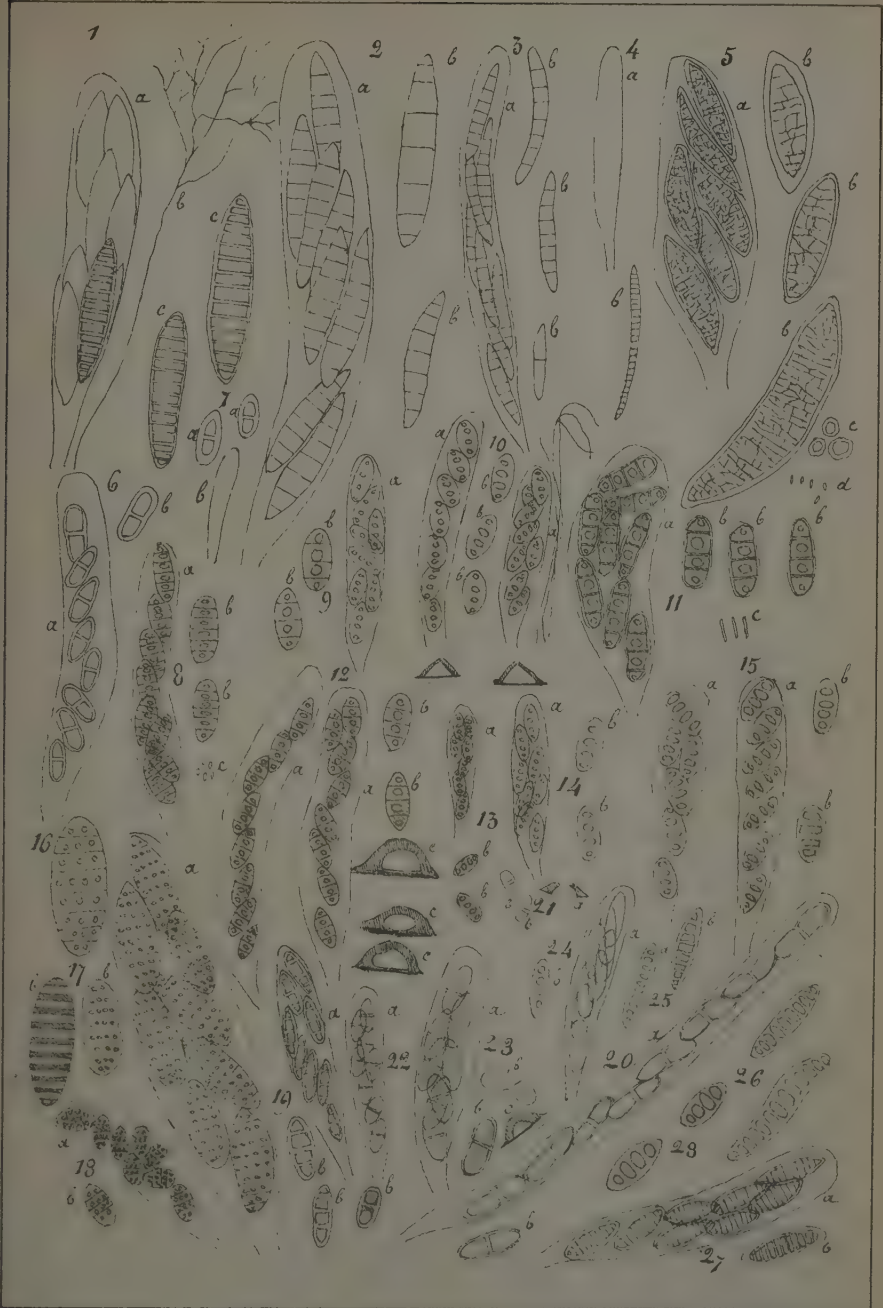
Fig. 28 : 2 spores.

Les stromes de cette espèce sont assez peu distincts, et peuvent être pris facilement pour des inégalités du thalle. Il n'est donc pas étonnant qu'on ait vu ici un *Verrucarié*. Il est plus que probable que le *Verrucaria circumrubens* Nyl. (*l. c.*) se rapporte à une forme dénudée du *Tr. cruentum* dont la base des apothécies a seule conservé la couleur sanguine du thalle ; cette forme n'est pas rare et se trouve mêlée au type ; elle est analogue à la *f. chlorotica* du *Tr. cruentatum* Müll. *Lich. Beitr.* n° 853.

N.-B. — Un certain nombre d'exemplaires de la plupart des espèces décrites ci-dessus se trouvent chez moi, à la disposition des amateurs, au prix de 40 centimes l'exemplaire, au profit du R. P. Pionnier.

EXPLICATION DES FIGURES

- Fig. 1. *Porina fuscescens* : *a*, thèque remplie ; *b*, paraphyse ; *c*, 2 spores libres.
2. *Porina mastoidea* : *a*, thèque remplie ; *b*, 2 spores libres.
3. *Porina interstes* : *a*, thèque remplie ; *b*, 3 spores isolées, dont 1 jeune.
4. *Porina Pionnieri* : *a*, thèque vide ; *b*, spore libre.
5. *Clathroporina eminentior* : *a*, thèque remplie ; *b*, 3 spores libres ; *c*, gonidies ; *d*, spermaties.
6. *Arthopyrenia consobrina* : *a*, thèque remplie ; *b*, spore isolée.
7. *Arthopyrenia gemmulata* : *a*, spores ; *b*, thèque.
8. *Pyrenula sexocularis* : *a*, thèque remplie ; *b*, 2 spores ; *c*, spermaties.
9. — *nitidella* : *a*, thèque remplie ; *b*, 2 spores mûres.
10. — *aspistea* : *a*, 2 théques remplies, dont l'une avec paraphyses ; *b*, 3 spores ; *c*, 2 coupes d'apothécies.
11. — *marginata* : *a*, thèque remplie ; *b*, 3 spores ; *c*, spermaties.
12. — *Kunthii* : *a*, 2 théques remplies ; *b*, 2 spores ; *c*, coupes d'apothécies (gross. 9).
13. — *segregata* : *a*, thèque remplie à 7 spores ; *b*, 2 spores libres.
14. — *glabrata* : *a*, thèque jeune remplie ; *b*, 2 spores.
15. — *hypophytoides* : *a*, 2 théques remplies ; *b*, 2 spores isolées.
16. *Anthracotheccium pyrenuloides* : 1 spore.
17. *Anthracotheccium libricolum* : *a*, thèque remplie ; *b*, 2 spores, dont l'une vieille et l'autre jeune.
18. *Anthracotheccium confine* : *a*, thèque remplie ; *b*, spore isolée.
19. *Arthopyrenia diluta* : *a*, thèque remplie ; *b*, 2 spores isolées.
20. — *media* : *a*, thèque remplie ; *b*, spore isolée.
21. — *subvaga* : *a*, coupe d'une apothécie (gross. 9) ; *b*, 2 spores isolées.
22. *Microthelia elata* : *a*, thèque remplie ; *b*, spore isolée.
23. *Microthelia hemisphaerica* : *a*, thèque remplie ; *b*, 2 spores, dont l'une à 2 loges se séparant ; *c*, coupe d'une apothécie (gross. 9).
24. *Trypethelium tropicum* : *a*, thèque remplie ; *b*, spore isolée.
25. — *eluteriæ* : *a*, spore jeune ; *b*, spore adulte.
26. — *platystomum* : 2 spores.
27. — *medians* : *a*, thèque remplie ; *b*, spore mûre.
28. — *cruentum* : 2 spores.



PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

Séance du 15 mai 1911

Présidence de M. le Dr BENECH

Correspondance. — M. Nicklès, président, s'excuse de ne pouvoir assister à la séance.

Le Public Muséum de Milwaukee (États-Unis) demande un certain nombre de fascicules du *Bulletin* de la Société, qui manquent à la collection que possède cet établissement.

Le Bureau de la Fondation pour l'Internationalisme demande à la Société de lui faire connaître, s'il y a lieu, les concours et prix institués par elle et auxquels les étrangers peuvent prendre part. La Société d'Agriculture, Sciences, Arts et Belles-lettres du département d'Indre-et-Loire invite la Société à participer aux fêtes organisées à l'occasion du 150^e anniversaire de sa fondation.

L'Académie de Stanislas invite les membres de la Société à assister à sa séance publique annuelle, qui aura lieu le 18 mai.

Demande d'échange. — Le directeur du *Bulletin* du Jardin botanique de l'Université de Naples demande l'échange avec le *Bulletin* de la Société. Cette proposition est adoptée.

Hommages d'auteur. — M. Noël offre à la Société deux brochures : « Note sur l'hydrogéologie tunisienne » et « Une mission en Tunisie ».

Présentation d'un membre. — M. Coué, ancien pharmacien, présenté par MM. Nicklès et Vuillemin.

COMMUNICATIONS

M. JOLY : *Présentation d'une carte hypsométrique de la Lorraine.*

Discussion. — M. Noël confirme les considérations de M. Joly sur la relation étroite existant entre la tectonique et l'orographie : il cite à l'appui des cas qu'il a observés en Tunisie.

M. VUILLEMIN : *Remarques sur les champignons du groupe des Sporotrichées.*

Discussion. — M. le Dr Benech pense avec M. Vuillemin qu'il est très difficile de définir un champignon pathogène pour l'homme par les symptômes de la maladie qu'il produit : un même ensemble symptomatique peut être déterminé par des causes très diverses.

Le Secrétaire annuel,
Ph. GUINIER.

Séance du 1^{er} juin

Présidence de M. NICKLÈS

MM. le Dr Benech, Le Monnier, Imbeaux s'excusent de ne pouvoir assister à la séance.

Correspondance. — La Société a reçu de l'Académie de Stanislas une invitation à assister à la conférence de M. Imbeaux sur « Le paradis des serpents et la sérothérapie anti-venimeuse à l'Institut de São Paulo (Brésil) » (Grand amphithéâtre de la Faculté des lettres, 9 juin 1911, à huit heures et demie du soir). — Des remerciements seront adressés à l'Académie de Stanislas.

Présentation d'un nouveau membre. — M. Lasseur, préparateur à la Station agronomique de Nancy, présenté par MM. Le Monnier et Nicklès, M. Le Monnier fera le rapport d'usage dans la prochaine séance.

Élection d'un membre titulaire. — A l'unanimité M. Coué est élu membre titulaire de la Société.

Projet d'excursion de la Société. — M. Nicklès propose à la Société de faire une excursion au moulin de Longor, près de Pagny-sur-Meuse (passage de l'ancienne Moselle, affluent de la Meuse). M. Nicklès veut bien se charger de faire les démarches nécessaires auprès de la Compagnie des chemins de fer de l'Est pour obtenir le tarif réduit. — Départ de Nancy à 7^h52, déjeuner à Pagny-sur-Meuse et retour à Nancy à 4^h9.

Les communications de M. Noël sont reportées à la prochaine séance.

Le Secrétaire général,
P. GRÉLOT.

Séance du 15 juin 1911

Présidence de M. NICKLÈS

Correspondance. — La Société a reçu : 1° Une lettre de M. le Préfet de Meurthe-et-Moselle invitant la Société à demander avant le 10 juillet le renouvellement de la subvention annuelle de 500 francs accordée par le Conseil général ; 2° Une lettre de M. Noël, s'excusant de ne pouvoir présenter à la séance de ce jour la communication pour laquelle il s'était fait inscrire.

Élection d'un membre titulaire. — Après le rapport verbal de M. Le Monnier sur la candidature de M. Lasseur, préparateur à la Station agronomique de Nancy, M. Lasseur est élu à l'unanimité membre titulaire.

Projet d'excursion de la Société aux éboulements de Ville-au-Val.
— M. Joly entretient la Société d'un phénomène qui s'est passé récemment aux environs de Nancy. Il s'agit d'éboulements qui se sont produits dans des vignes à Ville-au-Val, sur une étendue de plusieurs hectares, dans la zone liasique. Il propose à la Société d'aller visiter ces éboulements le dimanche 25 juin. — Départ de Nancy à 7 heures du matin, arrivée à Dieulouard à 7^h39. — Départ pour Pont-à-Mousson à 11^h59, déjeuner, excursion à la côte de Mousson dans l'après-midi. — Retour à volonté.

COMMUNICATION

M. NICKLÈS : *Observations nouvelles sur les alluvions de la Moselle, ancien affluent de la Meuse.* — Cette communication sera insérée *in-extenso* dans le *Bulletin*.

Le Secrétaire général,

P. GRÉLOT.

PRÉSENTATION

D'UNE

CARTE HYPSONÉTRIQUE

DE LA LORRAINE

Par M. Henry JOLY

La carte hypsonétrique de la Lorraine et des régions voisines, que j'ai l'honneur de présenter à la Société des Sciences de Nancy, a été dressée à l'échelle de 1/200.000^e à l'aide des cartes topographiques françaises et allemandes à la même échelle ; elle est destinée à éclairer la division de la région lorraine en régions naturelles et sera annexée pour cette raison à un ouvrage de géographie géologique traitant de la Lorraine, que je suis sur le point de publier.

Cette carte hypsonétrique fait suite, pour ainsi dire, et complète une carte semblable dressée et publiée ces dernières années (1) par un *Landesgeolog* allemand, M. van Werveke, et comprenant les Vosges, la plaine du Rhin et une partie de la Lorraine (*Lothringische Stufenland*). Je me suis guidé sur cette carte pour le choix des couleurs, que j'ai échelonnées de la façon suivante :

De 100 à 200 mètres. . . .	teinte verte
— 200 à 300 —	— jaune clair
— 300 à 400 —	— orange
— 400 à 600 —	— brune
— 600 à 800 —	— brun foncé
— 800 à 1.000 —	— noire
Au-dessus de 1.000 —	— blanche

(1) M. VAN WERVEKE, *Begleitworte zur Höhenschichtskarte von Elsass-Lothringen*, 1906.

Ainsi dressée, la carte hypsométrique de la région lorraine fait nettement ressortir les traits essentiels de la physionomie de l'Est du bassin de Paris : plaine triasique ; région des plateaux de Haye et de Briey ; plaine de la Woëvre ; plateau gréseux de Luxembourg ; côtes de Meuse ; plateau du Barrois et plaine de la Champagne.

Mais indépendamment de ces traits mis en évidence, on remarque aussi, ce qui est une conséquence de la sculpture du sol par les agents atmosphériques, une relation souvent très nette entre le relief du sol et la constitution tectonique du sous-sol. Ainsi, pour un œil exercé à ce genre de lecture de cartes, on sent très bien le cheminement de l'anticlinal houiller de Sarrebrück, se poursuivant sous les terrains secondaires par le dôme de Kreutzwald traduit sur la carte hypsométrique par une plaine circonscrite par des collines — puis par Pont-à-Mousson, où la plaine liasique est entourée d'une ceinture de collines bajociennes — puis par Commercy, où la vallée de la Meuse s'élargit, où les sommets du plateau corallien sont moins élevés.

D'un autre côté, le synclinal de Luxembourg a très nettement occasionné le plateau gréseux de cette même région. Il y a, ici encore, renversement du sens des reliefs, si l'on peut s'exprimer ainsi ; c'est-à-dire qu'à un synclinal tectonique correspond une région haute altimétriquement. C'était l'inverse tout à l'heure pour l'anticlinal de Sarrebrück auquel correspondait une ligne de dépressions orographiques.

Ce renversement du sens des reliefs n'a pas toujours lieu, du reste, et compte au contraire de nombreuses exceptions. La vallée de la Saône, par exemple, dans les Faucilles, qui est une dépression orographique très importante et qui a joué un grand rôle dans l'évolution géographique des rivières du bassin de la Meuse, correspond à une dépression tectonique, à un lambeau de terrains affaissé entre de nombreuses failles.

On pourrait d'ailleurs multiplier les exemples de l'influence de la constitution tectonique du sol sur le relief de la surface, surtout si l'on voulait s'arrêter à des détails, comme examiner les ressauts occasionnés par les nombreuses failles orographiques de la région. Il sera préférable de se reporter à la carte hypsométrique elle-même, qui sera accompagnée d'un transparent sur lequel seront tracés, d'une part, les axes anticlinaux et synclinaux

tectoniques (lignes de croix et de traits) et, d'autre part, les lignes de crêtes et de dépressions, en cherchant les relations de celles-ci avec les traits tectoniques. On remarquera que, très souvent, les lignes de crêtes (lignes de doubles croix) coïncident avec des synclinaux, et, réciproquement, que des dépressions coïncident avec des régions anticlinales.

On peut en conclure que, dans la région lorraine, la carte hypsométrique est utile à consulter pour les études de tectonique.

LES ALEURIOSPORÉS

Par M. Paul VUILLEMIN

Pour introduire de l'ordre dans la classification des *Hyphales*, nous avons indiqué (1) la nécessité de distinguer les conidies des thallospores (blastospores, arthrospores, chlamydospores, etc.) et de réserver le premier nom aux spores qui s'opposent au thalle dès leur première apparition. Les conidies sont, tantôt insérées directement sur les filaments mycéliens, tantôt reliées à l'appareil végétatif par des sporophores plus ou moins différenciés; d'où la division des Conidiosporés en Sporotrichés et Sporophorés, ceux-ci aboutissant à leur tour aux groupes plus spécialisés des Phialidés et des Prophialidés.

Les organes de plus en plus compliqués qui caractérisent ces diverses catégories peuvent être envisagés comme les degrés successifs de la différenciation d'un mycélium primitivement homogène et instable, progressivement fixé dans des formes diverses.

La conidie est vraisemblablement dérivée de la thallospore. Ainsi s'explique l'existence d'un vaste groupe, généralement méconnu, caractérisé par des spores intermédiaires entre la chlamydospore et la conidie.

Ce groupe paraît avoir été pressenti par Link en 1809 lorsqu'il créa le genre *Aleurisma* pour des espèces où les spores, survivant à des filaments fugaces dont elles procèdent, finissent par s'entasser comme une poudre de farine (ἄλευρον). Ces spores, que nous appellerons *aleuries*, diffèrent des conidies par leur union indissoluble avec les filaments mycéliens, dont elles ne sont affranchies que par la destruction de ces derniers.

Les auteurs modernes ont supprimé le genre *Aleurisma* Link, qu'ils confondent avec le genre *Sporotrichum*. Ce discrédit n'est

(1) *Les Conidiosporés* (Bulletin de la Société des sciences de Nancy, série III, t. XI, p. 129-172, 1910).

pas justifié; mais il s'explique, si l'on songe que Link lui-même n'a pas su préciser les caractères distinctifs des deux genres créés simultanément en 1809, et qu'il a fini par renvoyer les types du genre *Aleurisma* dans le genre *Sporotrichum*. Les deux genres de Link sont parfaitement légitimes et même éloignés l'un de l'autre.

Dans les deux genres, les spores se forment aux dépens de filaments peu ou point distincts du mycélium végétatif, rampants ou à peine redressés à leur voisinage. Ils répondent l'un et l'autre à la notion morphographique de *Sporotrichés*. Mais les spores n'ont pas la même valeur morphologique dans les *Sporotrichum* et dans les *Aleurisma*.

Les spores de *Sporotrichum* sont de vraies conidies se formant au sommet des filaments, restant terminales ou constituant des grappes monopodiques par l'accrescence du filament qui, poursuivant son allongement, rejette de côté les spores au fur et à mesure de leur naissance. Ces conidies, nettement opposées au mycélium dès leur apparition, sont rapidement caduques.

Les spores d'*Aleurisma* ne sont pas des conidies, bien que leur régularité en impose parfois à un examen superficiel. Elles peuvent être terminales, latérales ou intercalaires; une même espèce offre toutes ces positions et les états intermédiaires. En aucun cas, elles ne sont originellement distinctes du thalle; leur libération n'est assurée que par la mort des filaments qui les portent et qu'elles épuisent. Elles ont la signification morphologique des chlamydospores, tout en ayant souvent une apparence conidiforme.

Link n'était pas en mesure de préciser le mode de formation et d'insertion des spores d'*Aleurisma*; mais il avait remarqué l'accumulation des spores survivant aux filaments, expression manifeste de la nature spéciale des spores et de leurs connexions avec le thalle.

Persoon, dans la *Mycologia europa* (1822), fait rentrer les *Aleurisma* dans le genre *Sporotrichum*. (C'est par un lapsus que Lindau (1904) donne *Aleurisma sporulosum* Pers. 1822 comme synonyme de *Sporotrichum sporulosum* Lk. 1818.) Persoon se rangeait à la dernière opinion de Link, mais non sans hésitation. Il dit en effet (*l. c.* p., 73): *Nonne Aleurisma ut genus particulare separandum?* Il a soin de faire ressortir le caractère propre des *Aleurisma*, dans la diagnose des espèces de *Sporo-*

trichum antérieurement décrites dans ce genre. A propos du *Sporotrichum rhodochroum* Lk. 1818 (*Aleurisma roseum* Lk. 1815) il dit : « *floccis raris* » ; à propos du *Sp. sporulosum* Lk. 1818 (*Aleurisma sporulosum* Lk. 1809), il transcrit la diagnose de Link : *Fila tantum adsunt parva, sed pulvere copioso oblecta* ; et à propos du *Sp. fructigenum* Lk. 1818 (*Aleurisma macrosporum* Lk. 1815) : *Fila valde tenacia, quibus sporulæ firmiter adhærent* Lk.).

Après Nees von Esenbeck, Chevallier s'est montré le plus ferme et le plus judicieux défenseur du genre *Aleurisma*. Dans la *Flore générale des environs de Paris* (2^e édit. I, 1836), il s'appuie sur la grande prépondérance des spores à l'égard des filaments peu distincts, opposés aux fils aranéux des *Sporotrichum*, sur l'adhérence des spores aux filaments, c'est-à-dire sur les caractères qui avaient frappé Link et Persoon, pour placer les *Aleurisma* dans un autre ordre que les *Sporotrichum*. Cet ordre ne peut garder le nom de *Trichodermaceæ*, opposé par Chevallier à l'ordre des *Sporotrichiæ*, attendu qu'une connaissance approfondie du genre *Trichoderma* a permis de le débarrasser d'un *Aleurisma* d'abord confondu avec lui. Sous cette réserve, Chevallier avait raison, et son ordre des *Trichodermaceæ* mériterait de renaître s'il avait tiré son nom du genre *Aleurisma*, dont les caractères servent de base à sa constitution.

Chevallier décrit cinq espèces d'*Aleurisma* : 1^o *A. erubescens* Nees 1817 ; 2^o *A. sporulosum* Lk. 1809 ; 3^o *A. bulbosorum* Lk. (*A. bulbosorum* Lk. 1816) ; 4^o *A. saccharinum* Lk. 1816 ; 5^o *A. flavissimum* Lk. 1815.

Les troisième et quatrième espèce sont douteuses ; l'*A. bulbosorum* est réuni par Streinz à l'*A. erubescens*, tandis que Chevallier dit cette espèce blanche ; l'*A. saccharinum*, décrit sur les Agarics, représenterait, d'après Lindau, une poussière de spores de ces grands champignons. L'*A. erubescens* de Nees, déjà considéré par Persoon comme subordonné à l'*A. sporulosum*, n'en est pas spécifiquement séparé.

Les types incontestés du genre de Link restent au nombre de deux : *Aleurisma sporulosum* Lk. 1809, *A. flavissimum* Lk. 1815. Nous allons nous arrêter à ce dernier, que nous cultivons depuis huit ans.

Aleurisma flavissimum Link 1816, Chevallier 1836

Synon. : *Sporotrichum flavissimum* Lindau 1905 *pro parte*. — *Sp. flavissimum* Harz 1871 non Lk. 1816. — *Sp. sparsum* Lk. 1818, Duby 1836 — *Sp. latum* Lk. 1818 et 1824, Streinz 1862, Sacc. Syll. IV. — ? *Sp. sulfureum* Greville 1823-1829. — *Trichoderma aruginosum* Lk. 1816. — *Blastomyces luteus* Cost. et Roll. 1889.

Icon. : Harz, *Bull. Soc. imp. des Naturalistes de Moscou*, t. XLIV, pl. IV, fig. 7, sous le nom de *Sp. flavissimum*. Cette figure est reproduite par Lindau, *Rab. Krypt.-Flora* I, VIII, p. 198, 1905, à côté du *Sp. chrysospermum* Harz, qui est bien un *Sporotrichum*. — Costantin et Rolland, *Bull. Soc. mycol. de France*, t. IV, 3, pl. XXIII, 1889, sous le nom de *Blastomyces luteus*.

Espèce répandue sur la terre argileuse, sur la terre de jardin, sur les matières végétales en décomposition : bois, tiges, feuilles, fruits, tubercules, sur les matières animales : ruches, excréments, etc. dans toute l'Europe et l'Amérique du Nord.

J'ai rencontré l'*Aleurisma flavissimum* à Nancy en juin 1903 sur des crottes de rat maintenues sous cloche dans une atmosphère humide. Il formait des amas pulvérulents « aleuroïdes » de quelques millimètres, assez saillants ; les uns ressemblaient à de la fleur de soufre, les autres avaient la couleur du vert de gris. Les semences prélevées dans les touffes jaunes ou dans les touffes arugineuses fournirent d'abondantes cultures, soit sur la gélose peptonée et sucrée (glycose ou maltose), soit sur les milieux végétaux (pomme de terre, carotte, etc.). La température de 20° est très favorable.

Le champignon forme d'abord un duvet blanc délicat. En vieillissant, les cultures prennent un aspect pulvérulent et des couleurs variées. La même gamme de tons est réalisée par les végétations provenant de colonies jaunes et par celles qui sont fournies par les colonies vertes. La coloration jaune est la plus précoce ; elle se montre dans le contenu des spores et des filaments et se maintient parfois indéfiniment, justifiant alors le nom assigné à l'espèce.

Souvent les tons jaunes passent du soufre à l'ocre. Puis il s'y mêle un ton fondamental rose et des intermédiaires orangés, violacés purpurins. Le vert apparaît tardivement, mais avec une grande intensité, si bien que, dans des cultures remontant à un

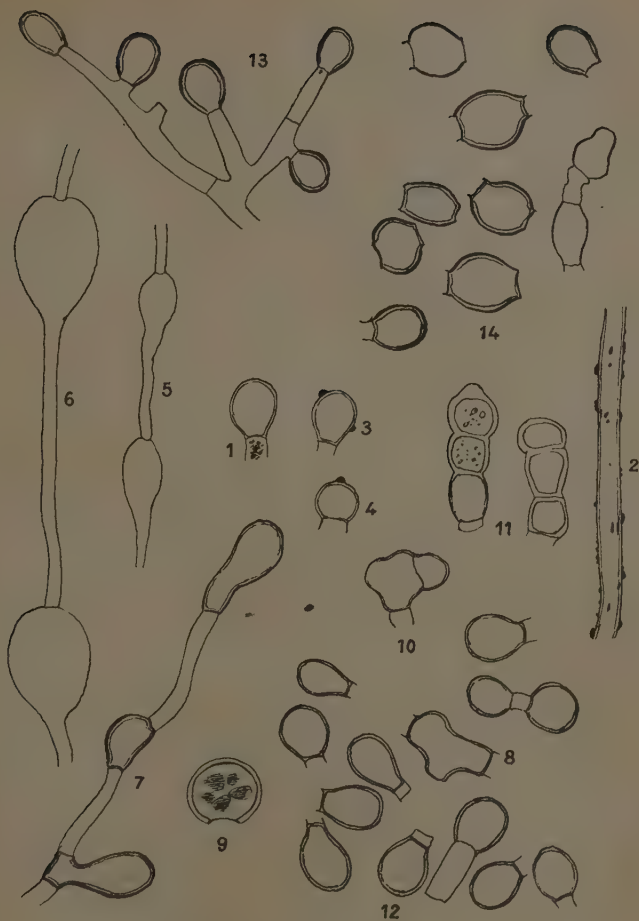


PLANCHE I — *Aleurisma flavissimum* Link

(Grossissement : 1500)

Fig. 1. Pigment vert dans le débris de filament adhérent à l'aleurie. — Fig. 2. Pigment vert exsudé à la surface d'un vieux filament. — Fig. 3-4. Pigment vert exsudé en gouttes hémisphériques à la surface des aleuries et simulant des bourgeons. — Fig. 5-6. Renflements du mycélium à paroi mince. — Fig. 7. Renflements mycéliens transformés en chlamydospores simples ou appendiculées. — Fig. 8. Chlamydospore bosselée. — Fig. 9. Aleurie géante. — Fig. 10. Aleurie bosselée. — Fig. 11. Chapelets terminaux. — Fig. 12. Aleuries tombées munies de débris de filaments ou de collerette. — Fig. 13. Aleuries naissant sur les filaments. — Fig. 14. Aleuries et chlamydospores d'un échantillon original de *Sporotrichum vellereum* var. *flavum* Sacc. et Speg., provenant de M^{lle} Libert.

mois ou davantage, il devient prépondérant et donne au champignon un éclat incomparable.

Le pigment vert résulte d'une modification du pigment jaune. On peut le trouver à l'intérieur de filaments mycéliens âgés et flasques ou bien dans les débris adhérents aux spores (fig. 1); il constitue des granulations ou des concrétions irrégulières, anguleuses, sans formes cristallines manifestes. Les concrétions pigmentaires sont plus fréquentes à la surface externe des membranes (fig. 2) qu'au sein du protoplasme même raréfié des vieux tubes; elles y forment des enduits interrompus ou de petites plaques saillantes comme nous en avons décrit chez le *Chlorosplenium æruginascens* du bois verdi. Le pigment, exsudé surtout avec sa couleur primitive, verdit au contact de l'air.

Le contenu des spores est rarement vert, et alors la coloration est diffuse; mais les spores sont souvent couvertes d'une, deux verrues ou davantage, bombées ou presque hémisphériques, constituées par une goutte desséchée de pigment jaune ou vert appliquée à la surface de la membrane (fig. 3, 4).

Les filaments mycéliens sont assez régulièrement cylindriques, cloisonnés, ramifiés; leur calibre oscille entre 1^a,3 et 2^a,6. Ils présentent, surtout dans les vieilles cultures, des dilatations localisées le plus souvent sous les cloisons (fig. 5). Ces renflements, généralement deux ou trois fois plus larges que l'hyphé, forment parfois des vésicules atteignant jusqu'à 19^a de diamètre avec une longueur de 23^a (fig. 6). Tantôt les renflements gardent des parois minces, tantôt ils s'isolent entre deux cloisons, épaississent leur membrane, prennent un contenu réfringent et deviennent des chlamydospores intercalaires, aussi variables dans leur forme que dans leurs dimensions (fig. 7).

D'autres chlamydospores naissent sur le trajet des filaments sans en dépasser notablement le calibre. Comme les précédentes, elles utilisent les matériaux non consommés par les spores terminales.

Si l'enkystement des segments intercalaires n'est pas assez rapide pour leur couper les vivres d'emblée, bien que la paroi soit déjà assez résistante pour empêcher un gonflement uniforme, la chlamydospore imparfaite émet une excroissance unilatérale, par une sorte de germination anticipée. Cette excroissance s'allonge peu et, si elle garde une paroi mince, elle se réduit à un

filament court et abortif; si sa membrane s'épaissit comme celle du segment intercalaire, elle forme un tout avec lui; on a dès lors une chlamydospore appendiculée, flanquée d'un prolongement latéral généralement renflé en massue au sommet. Si les excroissances restent très courtes et se montrent simultanément en plusieurs points on a une chlamydospore bosselée (fig. 8).

Les chlamydospores ne sont pas toujours intercalaires. Quand elles terminent les filaments ou leurs rameaux, elles peuvent reproduire les divers aspects qui viennent d'être mentionnés: segments courts, massues plus ou moins prolongées inférieurement, lisses ou bosselées. Elles sont parfois aussi régulières, mais plus volumineuses que les spores ordinaires. Dans des cultures de quatre mois, j'en ai vu de sphériques ayant $7^{\mu},4$ de diamètre avec une très forte membrane $\left(\frac{2^{\mu}}{3}\right)$ brusquement amincie dans la facette d'insertion (fig. 9).

Comme les spores intercalaires, les chlamydospores terminales présentent des phénomènes d'accrescence avant d'entrer dans leur repos complet. Une excroissance latérale peut s'isoler par une cloison, sans étranglement (fig. 10). Certaines excroissances subterminales se renflent comme un bourgeon, mais l'idée d'une végétation levuriforme est écartée d'emblée par l'épaisseur initiale des parois et par la cloison séparatrice aussi large que les filaments végétatifs. Si l'excroissance est nettement terminale, on a deux ou trois chlamydospores superposées au sommet du filament (fig. 11). De semblables chapelets résultent du recloisonnement d'un rudiment claviforme; en ce cas la chlamydospore terminale est la plus grande.

Ces formes variées des chlamydospores développées en divers points s'observent surtout dans les vieilles cultures. Il ne faut pas leur demander les caractères spécifiques essentiels. Elles indiquent toujours un état de souffrance ou d'épuisement consécutif à la formation des spores ordinaires.

Les spores caractéristiques de *Pleurisma flavissimum* abondent dans les cultures jeunes. Elles sont régulièrement ovoïdes, largement tronquées inférieurement, leur facette d'insertion mesurant $12,3$ à $12,7$ comme le sommet des filaments non atténués à leur niveau (fig. 12). Leurs dimensions, aussi fixes que leur forme, sont de $5,5 - 6,5 \times 4 - 4,75$; leur membrane ferme et

rigide a $\frac{1}{3}$ d'épaisseur ; elles terminent les filaments et des rameaux nés sans aucun ordre, dont les plus courts ne sont pas plus longs que larges (fig. 13). Elles sont indéhiscences. A leur maturité, les filaments vides et fragiles se brisent souvent au voisinage des spores, laissant à leur base une collerette dont la membrane semble s'être affermie en même temps que celle de la spore sans acquérir une épaisseur appréciable. Parfois le sommet du filament s'isole par une cloison très près de la spore ; le segment correspondant peut renfermer des granulations de pigment vert.

Ce mode d'insertion, l'indéhiscence des spores et leur libération secondaire par rupture des filaments, sont les caractères distinctifs du genre *Aleurisma* à l'égard du genre *Sporotrichum*. Ils rendent compte de l'aspect farineux des cultures, qui avait amené Link à fonder ce genre et à lui donner un nom rappelant le caractère visible à l'œil nu sur les touffes mûres.

Ces caractères indiquent également l'homologie des spores ordinaires et des chlamydo-spores de cette espèce, en dépit de la régularité de position, de forme et de dimensions des premières. Les formes intermédiaires viennent confirmer cette homologie. Leur abondance progresse avec le vieillissement des cultures ; et si, dans les végétations épuisées, la forme inconstante des spores les fait rattacher sans hésitation aux chlamydo-spores, même quand elles sont terminales, il est un âge critique où les caractères demeurent indécis et le choix arbitraire. On rapporterait avec autant de raison aux spores ordinaires qu'aux chlamydo-spores certaines spores qui ont exactement les caractères des premières, mais qui, avant de consolider leur membrane, ont émis sous le sommet, soit une spore sessile simulant un bourgeon, soit un filament qui se termine par un nouvel article enkysté.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer permettent de distinguer sans peine le genre *Aleurisma* du genre *Sporotrichum*, en prenant pour espèce type l'*A. flavissimum* Link 1816.

Les spores terminales de l'*A. flavissimum* ont une homologie incontestable avec les chlamydo-spores, dont elles gardent les caractères essentiels. On ne doit plus les confondre avec les conidies, puisqu'elles font d'abord partie du thalle et en sont inséparables, tant que les filaments dont elles dépendent restent vivants. On ne saurait pourtant leur garder sans inconvénient le

nom banal de chlamydospores. Leurs analogies avec les conidies ont été mal interprétées ; ce n'est pas une raison pour les méconnaître. Elles ressemblent aux conidies, autant qu'elles diffèrent des kystes indéterminés réunis sous le nom de chlamydospores, par leur position, leur uniformité et jusqu'à un certain point par leur fonction. Nous admettrons volontiers qu'elles représentent un terme intermédiaire entre les portions enkystées du thalle et les éléments reproducteurs qui s'opposent dès l'origine aux filaments végétatifs. Ce ne sont plus des chlamydospores ; ce ne sont pas encore des conidies ; elles doivent être désignées par un terme spécial. Le nom d'ALEURIEN rappelle l'aspect farineux qui avait frappé Link et qui l'avait amené à opposer judicieusement le genre *Aleurisma* aux Conidiosporés du genre *Sporotrichum*.



Nous avons inscrit *Blastomyces luteus* parmi les synonymes d'*A. flavissimum* Link. Sous ce nom, MM. Costantin et Rolland (1) décrivent un champignon trouvé sur des crottes d'ours, habitat en rapport avec les habitudes de l'espèce que nous avons isolée des crottes de rat. La couleur jaune prédomine, comme l'indique le nom spécifique *luteus* ; mais le *Blastomyces* offre toute la gamme chromatique dont nous avons parlé, y compris les tons roussâtres et franchement verts. Le nom du genre *Blastomyces*, qui signifie champignon bourgeonnant, fait songer à une différence plus profonde ; mais il est peu justifié par la description et les figures données par MM. Costantin et Rolland. « On voit d'abord, disent-ils (fig. 5 et 6, pl. XXIII), les bourgeons terminaux et latéraux s'isoler à la base par une cloison. » Ces figures nous montrent que le mot bourgeon est pris dans son acception banale et non dans le sens spécial qui a fait créer en mycologie le nom de Blastomycètes, car il s'agit ici de rameaux courts, reliés au filament par une large insertion ; c'est précisément le caractère habituel des *Aleurisma*. Un second mode de bourgeonnement est mentionné sous forme de petites verrues hémisphériques sur les facettes des spores. Les figures qui représentent cet aspect répondent exactement aux exsudations jaunes ou vertes concrétées

(1) COSTANTIN et ROLLAND, *Blastomyces*, genre nouveau (*Bulletin de la Société mycologique de France*, t. IV, fasc. 3, p. 153-157, pl. XXIII, 1889).

à la surface des spores d'*Aleurisma*. L'épaisseur des membranes ne permet pas de comprendre un véritable bourgeonnement donnant naissance à des spores secondaires aux dépens de ces verrues.

Ces petites saillies sont inertes et n'ont aucun rapport avec les excroissances volumineuses qui partent des spores terminales ou intercalaires et qui se sont constituées avant la consolidation des membranes. Ici encore les figures de MM. Costantin et Rolland concordent avec les aspects que nous avons décrits. Nous sommes donc d'accord avec eux sur les faits décrits, sinon sur leur interprétation.

La troncature de la spore, et accessoirement les verrues provenant d'exsudation, déterminent l'aspect anguleux signalé par M. Lindau dans le *Sporotrichum flavissimum*, comme par MM. Costantin et Rolland dans le *Bl. luteus*. Les dimensions concordent également.

Le genre *Blustomyces* est à supprimer. Son unique espèce, *Bl. luteus*, tombe en synonymie. C'est l'*A. flavissimum*.

Nous sommes porté à rapprocher de cette espèce le *Sp. vellereum* var. *flavum* Sacc. La principale différence relevée dans les échantillons provenant de M^{lle} Libert, et dont nous devons communication à l'obligeance de M. René Ferry, porte sur la proportion très considérable de spores intercalaires. Les aleuries terminales ont même couleur, même forme et mêmes dimensions (fig. 14). C'est en tout cas un *Aleurisma*, aussi bien que le *Sp. vellereum* Sacc. et Speg. d'après les échantillons originaux.

L'espèce décrite sous le nom de *Sp. vellereum* var. *griseum*, dans un remarquable mémoire de M. E. Boulanger (1), est un vrai *Sporotrichum* à conidies en grappe monopodique. Le *Sp. vellereum* étant un *Aleurisma*, l'espèce cultivée par M. Boulanger doit changer de nom ; nous proposons le nom de *Sp. Boulangerii*. Remarquons en passant que la forme parfaite qu'il lui rattache sous le nom de *Chaetomium cuniculorum* Fuckel, diffère profondément de ce dernier. C'est un *Melanospora* analogue au *M. chionea* (Fr.) Corda.

Outre l'*A. flavissimum* Link, l'*A. vellereum* Sacc. et Speg.,

(1) E. BOULANGER, Sur le polymorphisme du genre *Sporotrichum* (Revue générale de Botanique, t. VII, 1895).

plusieurs champignons incolores ou de couleur gaie rentrent dans le même genre, en première ligne l'*Aleurisma sporulosum* Link 1809, qui en est le prototype.



Les affinités du genre *Aleurisma* ont été bien comprises par Chevallier et toujours méconnues depuis. Chevallier réunit dans l'ordre des *Trichodermaceæ* les genres *Aleurisma*, *Sepedonium*, *Mycogone*, *Trichoderma*, *Ægerita*.

Nous ne parlerons pas du genre *Ægerita*, représenté dans la *Flore des environs de Paris* par une espèce douteuse, *Ægerita candida* Pers.

Ce n'est pas sans surprise que nous voyons le genre *Aleurisma* associé au genre *Trichoderma*, qui nous fait songer au *Trichoderma viride*, espèce munie de phialides et de spores agglomérées par un mucilage comme les *Acrostalagmus*. Mais ne nous hâtons pas de taxer de légèreté un observateur qui a si bien compris le genre *Aleurisma* avec des ressources qui nous semblent insuffisantes. Chevallier rangeait dans le genre *Trichoderma*, avec Link et Nees, le *Tr. æruginosum* Link 1816, confondu sans raison par Persoon avec le *Tr. viride*. Persoon ne connaissait que ce dernier, Chevallier ne connaissait que le premier. Or, l'espèce de Link est, croyons-nous, la forme verte de l'*A. flavissimum*, dont le polymorphisme était bien fait, on en conviendra, pour dérouter des auteurs qui ne disposaient, ni du procédé des cultures, ni de l'usage des microscopes puissants. Chevallier avait donc étudié le genre *Trichoderma* sur un spécimen d'*Aleurisma*; son groupe des *Trichodermaceæ* prend légitimement le nom d'*Aleurismaceæ*.

Les genres *Sepedonium* et *Mycogone*, par les dimensions imposantes et la haute différenciation de leurs spores, paraissent, à première vue, bien éloignés d'un type aussi simple que les *Aleurisma*. Une fois de plus Chevallier se montre d'une sagacité stupéfiante. Dans le genre *Sepedonium*, dit-il, « les flocons, encore extrêmement courts, n'existent que dans le premier âge de la plante; car, dans l'âge adulte, elle n'offre plus qu'une matière pulvérulente. » Cette grossière apparence reflète la même structure que dans le genre *Aleurisma*. Les spores que

l'aspect racémiforme a fait ranger par les modernes à côté des *Botrytis* sont des aleuries ne différant des spores d'*Aleurisma* que par leur degré de complication, et libérées comme elles par destruction de leurs supports indistincts du mycélium. L'aspect macroscopique, bien vu et bien compris, avait préservé Chevallier de prendre, comme ses successeurs, l'analogie pour l'homologie.

Dans la plupart des *Sepedonium* on ne connaît que des aleuries qui, avec le mode d'existence, donnent au genre une certaine homogénéité. Le *S. chrysospermum* est la seule espèce pourvue concurremment de conidies. Les conidies sont, en général, un type d'organe reproducteur mieux différencié que les aleuries à l'égard du mycélium et doivent prendre le pas sur ces dernières en taxinomie. Mais, comme le genre *Sepedonium* a été fondé sur les aleuries, sa place est bien au voisinage des *Aleurisma*, tant qu'il est envisagé comme Hyphales indépendamment des péri-thèces qui rattachent son espèce type à l'*Hypomyces chrysospermus* Tul.

Si nous n'envisageons dans les *Mycogone* que les grandes spores, seules connues de Chevallier, utilisées à l'exclusion des conidies dans la classification des Hyphales par Saccardo et Lindau, la conception du vieux mycologue parisien l'emporte encore sur celle qui règne actuellement. Lindau reconnaît que les grandes spores des *Mycogone*, comme celles des *Sepedonium*; sont physiologiquement des spores sommeillantes ou chlamydo-spores. Il ne leur en donne pas moins le nom de conidies, et c'est par leur comparaison avec les conidies septées, des *Diplocladium* par exemple, qu'il place les *Mycogone* dans la subdivision des *Hyalodidymæ*.

Chevallier n'eût pas fait cette confusion. Pour lui, les spores de *Mycogone* ne sont pas septées, mais munies d'un appendice globuleux et filiforme : *Sporulae appendiculo globoso et filiformi non septatae*. Il ne distingue pas la vésicule du pédicelle. Sans doute, la vésicule est séparée du pédicelle par une cloison; mais celle-ci est délicate et ne figure pas dans le dessin de Saccardo reproduit par Lindau (p. 385); elle ne diffère pas des cloisons du mycélium auquel la vésicule, comme le pédicelle, demeure associée. L'épaississement de la membrane, qui dépasse 2^e chez le *Mycogone cervina* et s'élève jusqu'à 6^e chez le *Mycogone rosea*, n'intéresse que la cellule supérieure. Du moins ne voit-on pas

sur la vésicule la couche cartilagineuse qui en forme la partie la plus importante (fig. 15). La membrane de la vésicule s'épaissit légèrement et offre même quelques granulations chez le *Mycogone*

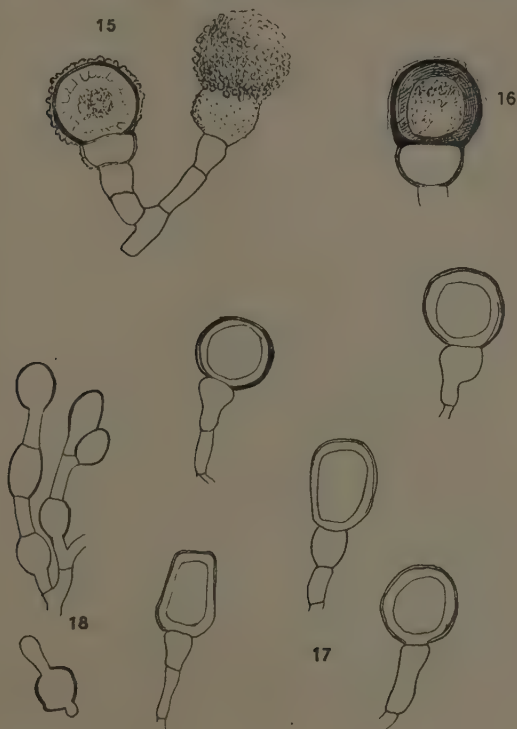


PLANCHE II — *Mycogone rosea* Link

(Grossissement : 400)

Fig. 15. Aleuries appendiculées normales ; à droite aspect extérieur, à gauche coupe optique montrant de dedans en dehors la couche cartilagineuse poreuse, la membrane rigide et la pellicule superficielle verruqueuse. — Fig. 16. Aleurie brune à membrane lisse. — Fig. 17. Aspects aberrants montrant le passage de l'appendice vésiculeux au filament végétatif.

Amblyosporium albo-luteum (Sécrétan) Cost.

(Grossissement : 400)

Fig. 18. Formation de l'aleurie terminale et des spores intercalaires. En bas, spore intercalaire germant par l'émission de tubes au voisinage des cloisons.

rosea ; mais chez le *M. cervina*, ces saillies ne s'étirent pas en baguettes comme sur la cellule supérieure. La vésicule des

Mycogone ne diffère pas plus du pédicelle que la collerette parfois isolée par une cloison, que nous avons signalée chez l'*A. flavissimum*.

Il est possible d'exagérer le contraste entre la cellule supérieure organisée en spore et la vésicule qui la relie au pédicelle. Nous avons réalisé cette expérience de la manière suivante : un réceptacle d'*Armillariella aurantia*, déformé par le *Mycogone* en voie de croissance, est plongé une demi-minute dans l'alcool à 90°, puis placé dans un flacon débouché. Quelques jours après, les spores avaient mûri en prenant une couleur brune (fig. 16). La membrane de la cellule supérieure avait acquis l'épaisseur habituelle, tout en gardant une surface lisse ; tantôt cette cellule était ronde, tantôt elle était un peu allongée et rétrécie, soit en haut, soit en bas. La vésicule, à peine dilatée, était souvent réduite à un tronc de cône ou à un cylindre dépassant peu le calibre du pédicelle, gardant une membrane mince (fig. 17).

Chevallier a donc raison de rapprocher les *Mycogone* des *Sepedonium* et de leur attribuer des spores arrondies, unicellulaires, différant seulement des spores des *Sepedonium* par l'appendice globuleux surmontant le pédicelle. Comme les aleuries d'*Aleurisma*, celles de *Mycogone* sont des chlamydospores régularisées, sujettes à des retours vers un état moins fixé. Nous avons signalé antérieurement (1) des cas dans lesquels deux ou trois cellules épaississent et colorent leur paroi et d'autres dans lesquels la cellule inférieure est plus large que la terminale.

Les genres *Sepedonium* et *Mycogone*, comme le genre *Aleurisma*, sont fondés sur les caractères des aleuries et non des conidies qui se rencontrent éventuellement en leur compagnie.

*
* *

Le genre *Chlamydomyces* Bainier 1907 possède des aleuries du même type que les *Mycogone*. L'unique espèce, nommée *Chl. diffusus* Bainier déc. 1907, avait été décrite au commencement de la même année par M. Potebnia sous le nom de *Mycogone Ulmarie*. La spore ocracée (Bainier), brune (Potebnia), à mem-

(1) VULLEMIN, Sur une maladie des *Agarics* produite par une association parasitaire (Bulletin de la Société mycologique de France, t. XI, p. 19, 1895).

branc épaisse et granuleuse, est tronquée à la base et se continue par un tronc de cône incolore, la reliant au pédicelle. Cet appendice basilaire n'est pas renflé comme celui des *Mycogone*. Le genre *Chlamydomyces* se distingue surtout par son port, son appareil sporifère distinct du mycélium, son habitat, sa vie sapsopite ; on ne lui connaît pas d'autre élément reproducteur que les aleuries. Il doit être maintenu en prenant pour espèce type *Chlamydomyces Ulmariz* (Potebnia) Vuill.

Le *Cephalothecium roseum* Corda 1838 se distingue des *Mycogone* par des sporophores dressés s'individualisant à l'égard du mycélium. Les spores ont la même apparence bicellulaire ; la cellule supérieure entre immédiatement en repos en épaississant sa membrane qui, toutefois, reste lisse et n'atteint pas le degré de complication connu chez les *Mycogone* ; la cellule inférieure est un appendice basilaire au même titre que celle de ces derniers ; elle manifeste souvent son activité végétative en émettant une seconde aleurie appendiculée, capable de se comporter de même. Les spores naissant les unes des autres par l'accrescence de la vésicule basilaire, avec des spores partant du sporophore à leur base, forment des pseudo-capitules donnant à la moisissure un aspect particulier. Leur développement a fait l'objet des observations de M. Costantin (1888), de M. Matruchot (1892), etc.

On considère généralement le *Cephalothecium* de Corda comme un état avancé du *Trichothecium roseum* Link. Cette opinion n'est pas prouvée. Link et ses successeurs, qui ont si bien distingué les spores didymes des spores appendiculées, rangent le *Trichothecium* dans la première catégorie et lui attribuent des filaments couchés, inséparables du mycélium. *Valde affine sporotricho et habitus idem, differt sporulis didymis* Lk. Le *Cephalothecium* est tout autre chose.

Le genre *Blastotrichum* Corda 1838 offre des analogies avec les *Trichothecium* et les *Mycogone*. Le prototype, *Bl. confervoides* Corda 1838, est devenu un *Trichothecium* pour Bonorden 1851. Le *Trichothecium parasitans* Corda 1838, le *Tr. candidum* Corda 1837, le *Tr. anodotrichum* Fries 1846 sont des *Blastotrichum* pour M. Saccardo, qui fait du *Blastotrichum puccinioides* Preuss 1848 un *Mycogone*. Cette dernière espèce est bien étudiée et figurée par M. Lindau (1905. Rab. Kr. Fl., p. 398).

Les spores ont une membrane épaisse, souvent granuleuse

comme dans ces deux genres ; mais elles ne terminent pas ses filaments rigides ; elles sont portées par de courts rameaux issus de filaments peu distincts de ceux du mycélium, parfois parasites des grands champignons comme les *Mycogone* ; mais le nombre des cellules est habituellement varié et supérieur à deux ; la cellule basilaire peut avoir une paroi mince, mais ce n'est pas toujours le cas, surtout quand la spore est bicellulaire. Le genre *Blastotrichum* est donc légitime. Prenons pour espèce type le *Blastotrichum puccinioides* Preuss 1848.

Nous n'éloignons pas des *Blastotrichum* le genre *Trichocladium* Harz 1871, réduit au *Tr. asperum* (Corda) Harz, si, comme le pense Lindau, le *Tr. tenellum* Harz est un *Trichothecium*. Le *Tr. asperum* Harz a été cultivé par M. Léon Dufour (1888) et par M. Bainier (1907). D'après le premier observateur, la couleur de la spore s'étend parfois au sommet du pédicelle qu'elle entraîne dans sa chute, se comportant ainsi comme les aleuries ; d'après le second, le nombre des cellules de la spore varie d'un à trois. Le *Tr. asperum* se distingue uniquement des *Blastotrichum* par la couleur très sombre de la membrane. Cette différence avait déjà conduit Corda à le ranger dans un autre genre ; il le nommait *Sporidesmium asperum* Corda 1838. Mais les *Sporidesmium* constituent un groupe confus qu'il n'est pas utile de faire revivre.

M. Lindau supprime le genre *Trichocladium* en rattachant le *Tr. asperum* au genre *Dicoccum* Corda 1829, malgré Harz, Saccardo, Oudemans, Dufour, Bainier. Cette décision est loin d'éclaircir la situation de cette espèce, car les *Dicoccum*, de même que les *Bispora*, ont des spores plutôt comparables aux chlamydospores qu'aux conidies et aux aleuries et très différentes de celles du *Tr. asperum* et des *Blastotrichum*.

Si nous voulons maintenir le *Sporidesmium asperum* Corda dans un genre distinct des *Blastotrichum*, il faut garder le genre *Trichocladium* Harz comme un petit genre subordonné au genre *Blastotrichum*, caractérisé comme ce dernier par des membranes épaisses, éventuellement granuleuses, s'en distinguant seulement par une pigmentation plus accusée des spores aleuriennes. C'est l'équivalent dématien du genre *Blastotrichum*.

Deux autres genres formés par Corda en 1837 : *Halysium* et *Monotospora*, ont des aleuries sombres, unicellulaires, qui les

séparent des Conidiosporés. On ne confondra pas le premier avec les *Acremonium* à conidies pâles, ni avec les *Virgaria* à conidies sombres et à conidiophores simples, le second avec les *Monosporium* à conidies claires ni avec les *Acremoniella* Sacc. (*pro parte*) à conidies sombres et à conidiophores ramifiés.

Le genre *Monotospora* a pour prototype *Monotospora toruloides* Corda 1837 et pour espèce type *Monotospora occulta* Vuill. (*Acremoniella occulta* Cavaia 1893).

Le genre *Halysium* a pour prototype *Halysium atrum* Corda 1837 et pour espèce type *Halysium sphærocephalum* Vuill. (*Monotospora sphærocephala* Berk. et Br. 1859).

Les sporophores sont distincts du mycélium dans les genres *Monotospora* et *Halysium*. Ils s'élèvent à un haut degré de complication dans le genre *Amblyosporium* Fresenius 1863.

Dans ce genre, l'appareil aleurien rappelle les Mucédinées les plus parfaites, à tel point que, faute d'établir la distinction entre les aleuries et les conidies, les auteurs modernes l'ont classé dans les Aspergillacées et lui ont adjoint de véritables Conidiosporés. L'*Amblyosporium echinulatum* Oudem. 1902 est en réalité un *Penicillium*, qui doit s'appeler *Penicillium echinulatum* (Oudem.) Vuill. et qu'on ne confondra pas avec le *Penicillium echinatum* Rivolta 1884. Ce dernier, par les hyphes et les conidies sombres, rentre dans le genre *Schizocephalum* Preuss 1852 et non dans le genre *Haplographium*, où Saccardo l'avait transféré. Le genre *Haplographium*, où l'on a confondu des *Hormodendrum*, des *Periconia*, des *Gliocladium*, des *Schizocephalum*, doit être restreint aux Pénicilliées à filaments dématiés, mais à conidies laticolores.

L'unique espèce connue est l'*Amblyosporium albo-luteum* Costantin 1887 (*Monilia albo-lutea* Secrétan 1833, *Amblyosporium botrytis* Fresen. 1863). Son attribution primitive au genre *Monilia* repose sur la disposition des spores en chapelets ramifiés sur des branches divergeant en corymbe au sommet d'un axe rigide. Elle parut tout d'abord confirmée par la découverte de Fayod (1885), qui montra ses rapports avec des sclérotés et une Pézize, *Peziza mycetophila* Fayod 1885. Saccardo la fit même rentrer dans le genre *Sclerotinia*. Cette attribution est démentie par la structure des asques, à peine entrevus par Fayod, décrits pour la première fois dans mes études biologiques sur les Champi-

gnons (1887) (1). Les asques et les ascospores, ainsi que les paraphyses, rappellent pour la forme les *Sclerotinia* des Vacciniées; mais, comme l'a montré M. Boudier, ceux-ci sont inoperculés et bleussent au sommet sous l'action de l'iode. Dans le *Peziza mycetophila* au contraire, ainsi que je l'ai spécifié en 1887, l'asque est operculé et ne se colore pas en bleu à l'extrémité par l'iode. Je remarquais en même temps que les réceptacles cupulés sont moins étroitement enchaînés aux sclérotés que dans le genre *Sclerotinia*. En ce qui concerne la moisissure, j'acceptais alors sans discussion la détermination de Secrétan.

Les *Amblyosporium* se distinguent des *Monilia* par l'ordre de formation des spores. Dans les *Monilia*, les spores naissent en progression basifuge; ce sont des thallospores du type blastosporé. La spore n'arrête pas la croissance terminale; le filament continue à bourgeonner au-dessus des spores déjà formées, éventuellement sur le côté, et donne des chapelets simples ou ramifiés. Chez les *Amblyosporium*, la première spore est et demeure terminale; elle définit l'allongement du rameau. Des renflements intercalaires apparaissent à diverses distances au-dessous d'elle et sont reliés entre eux par des portions cylindriques, simples ou munies d'une ou deux cloisons. La dilatation qui marque leur apparition est parfois précoce; leur isolement entre deux cloisons peut même devancer la maturité complète de la spore terminale (fig. 18), mais celle-ci reprend son avance et mûrit la première. Quand la production rétrograde des spores intercalaires s'étend en deçà de la naissance des derniers rameaux, on a des systèmes moniliformes ramifiés qui ont l'apparence de ceux des *Monilia*, mais une tout autre origine.

En résumé, si l'on suit le développement de l'*Amblyosporium albo-luteum*, on voit apparaître d'abord des aleuries terminales, ovoïdes, largement tronquées à la base comme dans le genre *Aleurisma*, puis un nombre variable de spores intercalaires de même dimension, plus directement comparables aux chlamydo-spores proprement dites, formant avec les aleuries terminales des chapelets rameux dont les grains sont généralement séparés par de courts filaments, entiers ou cloisonnés.

Le genre *Myceliophthora* Costantin 1894, représenté par une

(1) Bulletin de la Société des Sciences de Nancy, série II, t. VIII, p. 33-161.

seule espèce, *M. lutea*, ressemble aux *Aleurisma* par son appareil sporifère à peine distinct du mycélium ; ses spores se forment comme chez les *Amblyosporium*. Il établit un trait d'union entre les genres *Aleurisma* et *Amblyosporium*.

On connaît chez les Ascomycètes des formes imparfaites répondant à la caractéristique des formo-genres fondés sur les aleuries terminales, ou associées à des spores intercalaires, ou alignées en chapelet. Les fructifications accessoires décrites et figurées par Eidam chez le *Myxotrichum uncinatum* Schroeter (*Gymnoascus uncinatus* Eidam), par Went chez le *Monascus purpureus*, par Dangeard chez le *Monascus Barkeri*, chez l'*Amauroascus cinnabarinus*, se rangent dans le genre *Myceliophthora*.

La prépondérance des aleuries terminales rattache au genre *Aleurisma* le *Ctenomyces serratus* sous sa forme dite conidienne, bien étudiée par Eidam. Ces éléments intermédiaires entre la chlamydospore et la conidie sont plus rarement alignés en chapelet ou cloisonnés d'après M. Dangeard.

Les recherches cytologiques de Dangeard nous montrent que, comme les conidies, les aleuries renferment tantôt un, tantôt plusieurs noyaux. Ce caractère est indépendant de l'individualisation plus ou moins précoce, plus ou moins complète, de la spore à l'égard du thalle.

On a souvent mentionné des conidies chez les Champignons qui produisent les teignes humaines. On a pensé que ces spores légitimaient l'incorporation des *Achorion* dans les genres *Oidium* ou *Oospora* (*Oidium porriginis* Mont. et Berkeley 1851, *Oospora porriginis* Sacc. 1886), des *Microsporon* dans le genre *Sporotrichum*. Saccardo nomme *Sporotrichum Audouini* le *Microsporon Audouini* Gruby, *Sporotrichum mentagrophytes* le *Microsporon mentagrophytes* Robin. Dans la culture comme dans la lésion, ces Champignons présentent uniquement des thallospores, n'autorisant pas à les rattacher à des genres de Conidiosporés. Dans les cultures, les fragments à paroi épaisse s'isolent assez fréquemment au sommet des rameaux et, tout en gardant une certaine inconstance de forme et de dimensions, atteignent parfois le degré de différenciation des aleuries. Bien que l'on puisse leur assigner en systématique un rang voisin des *Aleurisma*, il nous semble pratiquement utile de garder les genres empiriques fondés sur les caractères imprimés au Champignon

par ses connexions avec les éléments cutanés, les poils en particulier.

*
* *

Les genres que nous venons de passer en revue sont tous caractérisés par des aleuries intermédiaires entre la chlamydospore et la conidie. Ils constituent le groupe des Aleuriosporés, dans lequel rentreront d'autres genres encore confondus avec les Conidiosporés.

Comme les conidies, les aleuries sont portées, soit sur des filaments peu distincts de l'appareil végétatif, soit sur des sporophores différenciés; elles sont tantôt unicellulaires, tantôt bi-pluricellulaires, de couleur gaie ou sombre. On pourrait songer à faire des Aleuriosporés une classe indépendante, dans laquelle on établirait des ordres, des familles parallèles à ceux de la classe des Conidiosporés. Cette conception compliquerait sans profit la classification, car il n'est pas prouvé que la distinction entre les aleuries et les conidies ait une plus haute valeur systématique, au point de vue des affinités, que la différenciation des sporophores à l'égard de l'appareil végétatif. La conidie n'est sans doute que l'état parfait d'individualisation de l'élément dont nous trouvons l'ébauche dans l'aleurie. Il est plus pratique et probablement aussi correct de placer des sections aleuriosporées à la base de plusieurs ordres de Conidiosporés.

Dans l'ordre des Sporotrichés, nous placerons la famille des *Aleurismaceæ* au-dessous de la famille des *Sporotrichaceæ*. Cette famille comprend deux tribus: 1° les *Aleurismæ*; 2° les *Blastotricheæ*. La première, qui a des aleuries unicellulaires, correspond aux *Trichodermaceæ*, tels que les concevait Chevallier; elle renferme les genres *Myceliophthora* Cost., *Aleurisma* Link, *Botryotrichum* Sacc. et March., *Sepedonium* Link et *Mycogone* Link.

La tribu des *Blastotricheæ*, dont les aleuries sont bi-pluricellulaires, renferme le genre *Trichothecium*, tel qu'il ressort de la description de Link, les genres *Blastotrichum* Corda et *Trichocladium* Harz.

L'ordre des Sporophorés débute par les *Monotosporaceæ*, opposés aux *Aleurismaceæ* par leurs sporophores distincts et

dressés. Cette famille renferme les genres *Halysium* et *Monotospora* dont les spores sont simples, les genres *Cephalothecium* Corda et *Chlamydomyces* Bainier, dont les aleuries sont appendiculées.

Le genre *Amblyosporium* est assez aberrant pour devenir un type de tribu; mais il n'est pas nécessaire de le séquestrer dans une autre famille.

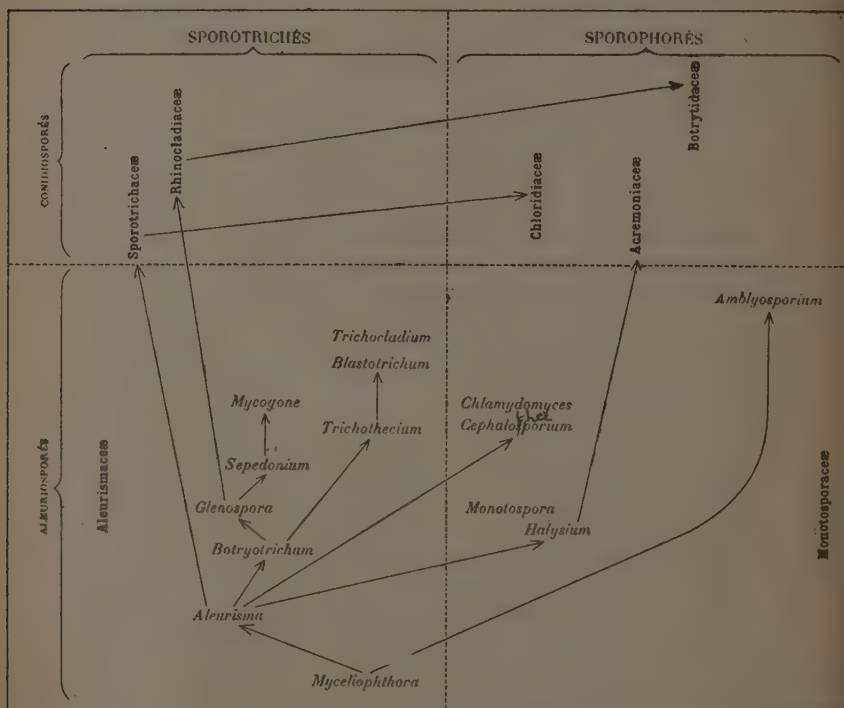
Le rapprochement dans les mêmes ordres des familles munies d'aleuries et des familles munies de conidies se justifie d'autant mieux que l'on connaît des spores plus proches de la conidie que de l'aleurie. Nous considérons comme intermédiaires entre les *Aleurismaceæ* et les *Sporotrichaceæ* les genres *Cladorrhinum*, *Rhinocladium*, *Goniosporium*, disséminés par les auteurs dans plusieurs subdivisions de *Dematiaceæ*. Dans ces trois genres, les spores, plus ou moins sombres, sont directement insérées sur des filaments rampants peu distincts du thalle et, par là, marquent leur place dans l'ensemble des *Sporotrichés*. Ces spores, disséminées sans ordre sur le trajet des filaments ou plus ou moins accumulées vers le sommet, sont reliées au support par des denticules qui se divisent de manière à laisser un apicule à la base de la spore et une excroissance sur le filament. Ces trois genres forment la famille des *Rhinocladiaceæ*, tenant à la fois des *Botryotrichum* qui sont encore des *Aleurismaceæ* et des *Sporotrichum*.

Le genre *Rhinocladium*, fondé, en 1885, par Saccardo et Marchal pour une moisissure trouvée sur des crottes de lapin, le *Rh. coprogenum*, s'est bientôt accru par l'adjonction du *Sporotrichum torulosum* Bonorden 1851 (*Rh. torulosum* Sacc. et March. 1896) et du *Rh. olivaceum* Bresadola 1900. Les principaux agents de la sporotrichose humaine, connus sous les noms de *Sporotrichum Schenkii*, *Beurmannii*, etc., sont des *Rhinocladium*, ainsi que le *Rh. Lesnei*.

Le denticule habituel et la naissance des spores en des points indéterminés établissent, mieux que la couleur, la distinction entre les *Rhinocladium* et les *Sporotrichum* qui ont les spores sessiles, terminales ou en grappe monopodique.

Comme les spores de *Rhinocladium* ne réalisent pas encore parfaitement le type de la conidie, on trouvera des cas où elles sont moins définies, deviennent sessiles et passent à la chlamy-

dospore. Ces exceptions sont moins communes que dans le genre *Aleurisma*. Aussi, tout en envisageant les Rhinocladiacées comme intermédiaires entre les Aleuriosporés et les Conidiosporés, nous



jugeons que la place de cette famille est plutôt dans ce dernier groupe que dans le premier.

Nous indiquons, sous forme de tableau, les rapports de continuité que nous concevons entre les familles et les genres caractérisés par des aleuries et les familles fondées sur des conidies.

Nous trouvons des passages continus des Sporotrichés aux Sporophorés, tant au niveau inférieur des Aleuriosporés qu'au niveau des Conidiosporés.

Les Aleuriosporés Sporophorés (Monotosporacées) conduisent aux *Acremoniaceæ*. Les *Acremonium* à conidies claires, les

Virgaria à conidies sombres, ont des sporophores simples comme les *Halysium*; les *Acremoniella* (espèce type: *A. atra* [Corda] Sacc.) ont les sporophores ramifiés comme les *Monotospora*.

Chez les Sporotrichacées, les sommets fertiles des filaments tendent à se redresser. Cette tendance, déjà manifeste dans le genre *Sporotrichum*, est plus accusée chez les *Haplaria*. Les extrémités fertiles et ramifiées sont parfois décrites comme des sporophores; mais elles ne sont pas encore distinctes du thalle; il semble même difficile d'établir une limite entre les genres *Sporotrichum* et *Haplaria*. Les sporophores sont mieux différenciés dans les genres *Chloridium* à conidies pâles et arrondies, *Cylindrocephalum* à conidies claires et allongées, *Trichosporium* à conidies sombres, *Streptothrix* Corda qui a des grappes monopodiques plus lâches, et dans le genre incertain *Acladium*. Nous réunissons ces genres dans la famille des *Chloridiaceæ* qui est l'équivalent sporophoré de la famille des Sporotrichacées.

Par ses conidies pédicellées, insérées sur des denticules, la famille des Rhinocladiacées mène insensiblement aux *Botrytidaceæ*. Le trait d'union est fourni par les genres *Rhinotrichum*, proche des *Rhinocladium* et *Phymatotrichum* (espèce type: *Ph. gemellum* Bonorden 1851) que nous laissons parmi les Rhinocladiacées, bien que ce dernier ait été souvent inscrit dans le genre *Botrytis*.

RÉSUMÉ

Le groupe d'*Hyphales* caractérisé par des aleuries sera opposé aux Conidiosporés sous le nom d'ALEURIOSPORÉS.

Link n'était pas en mesure de préciser le mode de formation et d'insertion des spores d'*Aleurisma*. Incapable de définir un genre entrevu dans un éclair de génie, il laisse rentrer les *Aleurisma* dans la foule indécise des *Sporotrichum*. Persoon le suit dans ce mouvement rétrograde, non sans quelque hésitation, car il dit: *Nonne Aleurisma ut genus particulare separandum?*

Chevallier s'est montré le plus ferme et le plus judicieux défenseur du genre *Aleurisma*. Dans la *Flore générale des environs de Paris*, il s'appuie sur la grande prépondérance des

spores à l'égard des filaments peu distincts, opposés aux fils aranéens des *Sporotrichum*, sur l'adhérence des spores aux filaments, pour placer les *Aleurisma* dans un autre ordre que les *Sporotrichum*.

Les aleuries ressemblent aux conidies par leurs fonctions, par leur position terminale et par leur uniformité ; mais leur homologie avec les chlamydospores ressort de leur continuité avec le thalle, de leur indéhiscence et des formes intermédiaires qui les relient, par des gradations insensibles, aux chlamydospores intercalaires et polymorphes. Ce ne sont plus des chlamydospores ; ce ne sont pas encore des conidies ; elles méritent un nom spécial.

L'espèce type du genre *Aleurisma*, l'*Aleurisma flavissimum* Link, présente un polymorphisme et un polychromisme à première vue déconcertants, qui expliquent les noms divers sous lesquels cette espèce vulgaire a été décrite. Link lui-même en a fait le *Sporotrichum sparsum* et le *Sp. latum*. Le *Trichoderma zeruginosum* Link en est vraisemblablement un autre synonyme ; ainsi s'explique le nom de *Trichodermaceæ* donné par Chevallier à l'ordre, d'ailleurs très naturel, qui a pour type le genre *Aleurisma*. A la même espèce nous rattachons le *Sporotrichum flavissimum* Harz, non Lk., le *Blastomyces luteus* Cost. et Roll., etc.

Chevallier range avec raison dans le même ordre que les *Aleurisma* les genres *Sepedonium* et *Mycogone*, pourvus de spores non caduques (aleuries) terminant les rameaux du mycélium. Malgré un degré de différenciation qui limite leur variabilité, les spores de *Mycogone* ne justifient pas la conception moderne qui les rattache aux *Hyalodidymæ*. Chevallier avait bien vu qu'elles ne sont pas septées : *Sporulæ appendiculo globoso et filiformi non septatæ*. Effectivement, l'appendice basilaire ne fait pas partie de la spore, et, dans quelques essais expérimentaux, nous l'avons fait varier comme les filaments végétatifs, dont il représente la dernière cellule.

A l'extrême opposé, c'est-à-dire à la base des Aleuriosporés, nous plaçons le genre *Myceliophthora* Constantin, dans lequel les aleuries terminales se distinguent à peine des chlamydospores.

Les genres *Botryotrichum* Sacc. et March., *Glenospora* Berk. et Desm., ont aussi des aleuries simples. Les aleuries sont bi-pluricellulaires dans le genre *Trichothecium* qui, d'après la

description primitive de Link, ne doit pas être confondu avec les *Cephalothecium* Corda, dans le genre *Blastotrichum* Corda et le genre *Trichocladium* Harz.

Tous les genres mentionnés jusqu'ici, ayant les aleuries insérées sur les filaments végétatifs, constituent, parmi les Aleuriosporés, le groupe inférieur des Sporotrichés.

Nous possédons plusieurs exemples d'aleuries portées sur des sporophores distincts du thalle, sans toutefois atteindre au degré de différenciation des phialides. Nous indiquerons comme types d'Aleuriosporés Sporophorés deux genres de Corda, abandonnés ou défigurés par suite de la confusion des aleuries avec les conidies : ce sont les genres *Halysium* et *Monotospora*. La même catégorie renferme les genres *Cephalothecium* Corda, *Chlamydomyces* Bainier, d'abord décrit par Potebnia sous le nom de *Myrogone*, en sorte que l'espèce type (*Chl. diffusus* Bainier) devient *Chl. Ulmariae* (Potebnia), enfin le genre *Amblyosporium* Fresen., où l'appareil aleurien atteint une élégante complication.

Les Aleuriosporés forment deux sections répondant aux deux ordres inférieurs des Conidiosporés : les Sporotrichés et les Sporophorés. La première forme la famille des *Aleurismaceæ*, subdivisée en deux tribus : les *Aleurismææ* à spores simples ou appendiculées, les *Blastotrichææ* à spores bi-pluricellulaires ; les Aleuriosporés-Sporophorés comprennent la famille des *Monotosporeææ*, dont les spores sont simples, éventuellement appendiculées. On peut considérer le genre *Amblyosporium* comme type d'une tribu de cette famille.

Tout en distinguant l'aleurie de la conidie, nous ne pensons pas qu'elle représente un type tranché d'organe reproducteur, mais plutôt un terme intermédiaire entre la spore mycélienne, notamment la chlamydospore, et la conidie définitivement opposée au thalle. Ce passage s'est effectué maintes fois dans des lignées indépendantes. En conséquence, nous considérons les Aleuriosporés, moins comme une classe autonome, que comme un ensemble de formes inférieures se reliant respectivement à divers ordres de la classe des Conidiosporés.

INFILTRATIONS ET SOURCES

DANS LA

DORSALE TUNISIENNE

Par E. NOËL

Dans un travail précédent (1), j'ai indiqué comment on pouvait, au moyen des données théoriques résultant de travaux mathématiques sur les niveaux d'eau, déduire de « nombres d'exploitations » et discuter dans une certaine mesure des formules de prévision de débit d'une source. Une étude postérieure, faisant intervenir des données météorologiques, et appliquée à plusieurs sources dans la « Dorsale tunisienne », m'a amené d'abord à une appréciation plus exacte et plus précise des phénomènes présentés par les sources de Zaghouan, et ensuite à une extension aux autres sources des résultats fournis par l'« hydraulique souterraine ». J'ai même pu ensuite apprécier les périmètres d'alimentation et l'ordre de grandeur des coefficients d'infiltration dans d'autres massifs, et esquisser l'étude de la nappe du jurassique tunisien : étude dont quelques résultats ont déjà été publiés ailleurs (2), ainsi que quelques-unes des applications techniques qu'ils comportaient.

Les « infiltrations sur le massif du Zaghouan » ont du reste fait l'objet d'une note à l'Institut (3) ainsi que d'un entrefilet aux *Comptes rendus des séances de la Société des Sciences* (4). Mais

(1) *Bulletin de la Société des Sciences de Nancy*, pp. 97-127, 1910.

(2) *Une Mission en Tunisie*, Nancy, Pierron, 38 pages, 1910 et *Revue industrielle de l'Est*, août-septembre 1910.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 20 juin 1910.

(4) *Bulletin de la Société des Sciences de Nancy* (Compte rendu sommaire, t. III, p. 18, 1^{er} juillet 1910).

avant d'aborder ces questions en elles-mêmes, il me semble nécessaire d'indiquer la manière dont ont été obtenus les graphiques qui servent de base à mon étude.

I — De la « correction » des diagrammes de débit

Comme je l'ai déjà dit dans un travail précédent, les nombres que j'ai utilisés sont les relevés journaliers fournis chaque semaine au service du contrôle par la compagnie concessionnaire des eaux de Tunis (1). Ces nombres représentent les débits des sources affectés de ceux des décharges, en cas de besoins d'eau locaux, ou de déversements par suite de travaux, ou de surabondance aux hautes eaux et d'erreurs de lecture pouvant provenir du fait du gardien. En outre, ces lectures ne sont pas faites tous les jours, mais seulement aux époques où l'on constate une variation des nombres du tableau.

J'ai expliqué comment, par suite de ce fait, le graphique réel se trouve entre les deux courbes reliant les sommets des angles rentrants et des angles sortants, et comment, aux périodes montantes, il est souvent légèrement au-dessus.

J'ai montré en outre l'influence que pouvaient avoir les variations brusques du coefficient d'imprégnation au voisinage de la surface libre. Des éboulements dans les couloirs d'amenée, près du griffon, produiraient un effet analogue. Jamais de tels accidents n'ont été pris sur le fait dans les sources de Tunis; mais j'ai pu juger sinon de leur fréquence, au moins de leur existence par le nombre des quartiers de roc trouvés sur le fond du couloir de la Nymphée de Zaghuan par exemple. Ces éboulements étant en outre assez fréquents dans les sources des calcaires, notamment dans celles qui alimentent Paris, où ils se traduisent, d'après M. Dienert, par une augmentation brusque de la conductibilité électrique de l'eau, il est à présumer qu'il doit en être ainsi dans les calcaires toujours un peu magnésiens de la Dorsale tunisienne. Ils sont cependant surtout fréquents dans les sources à couloirs caverneux ou les rivières souterraines, plutôt que dans les calcaires simplement perméables en grand. Ils doivent donc être à considérer plutôt dans les sources du Bargou, vraies résurgences

(1) Compagnie du gaz et régie cointéressée des eaux, à Tunis, rue d'Autriche.

d'une rivière souterraine combinée avec des sources locales, que dans les sources de terrains plutôt perméables en grand, comme celles du Zaghouan et du Djoukkar.

On peut tenir compte de l'influence des décharges au moyen des observations suivantes. Le plus souvent une vanne de décharge est ouverte lors d'une visite du gardien comportant lecture. Alors, le niveau baisse à l'échelle de jauge et les nombres lus les jours suivants sont bien inférieurs à ceux des précédentes lectures (pour le Zaghouan, quelques centaines de mètres cubes, moins de 1.000). La décharge reste alors ouverte très longtemps, plusieurs semaines, parfois des mois, comme à la Nymphée en 1907, sans qu'il soit touché à la vanne. Le besoin du déversement ne se faisant plus sentir, le gardien ferme la vanne, ou en diminue l'ouverture. Dans les deux cas, le niveau remonte brusquement autour de l'échelle de jauge, et les lectures des jours suivants accusent cette augmentation. Dans les cas de fermeture totale, le nouveau graphique est dans le prolongement du premier graphique de fermeture, dans celui de fermeture partielle, il est entre les deux.

D'autre part, comme le gardien ne touche pas la décharge, dans bien des cas, notamment celui de la Nymphée, où le déversement n'est en somme qu'une petite fraction du total, on peut admettre, soit que le rapport des deux débits de la conduite d'amenée et de la décharge est presque constant, ou que le débit de la décharge varie peu. Dans tous les cas, les perturbations de débit par éboulements ou infiltrations impressionnent les deux conduites ; par suite, on peut admettre que le graphique brut de débit en période de décharge n'est autre que le graphique réel de la source décalé vers le bas d'une quantité constante pour une faible durée (quelques jours, deux ou trois semaines), ou lentement décroissante pour une plus longue durée (un ou deux mois et plus) [fig. 1].



Fig. 1.

Lorsqu'une source n'a subi qu'un captage partiel, ou que l'échelle de jauge ne mesure que la quantité admise dans la conduite de Tunis, les mêmes phénomènes se produisent : le graphique brut se compose d'une suite d'arcs décalés suivant l'axe des débits d'une quantité variant dans le même sens que le débit.

Cette variation est attestée indépendamment de toute décharge par l'inclinaison de chacun de ces arcs. On peut encore admettre comme première approximation, qu'il existe un rapport constant entre le débit des deux conduites. Si, de plus, on admet que la ou les décharges restent ouvertes en totalité, sans variation dans le vannage, on peut même, dans certaines limites de débits, suivre les variations de ce rapport, par suite celles du débit total de la source lui-même. C'est ce que j'ai essayé de faire pour la source de Bou-Saadia au Bargou, qui présente plusieurs griffons, dont certains munis de décharge avaient déjà été captés pour Tunis avant 1907 (source de Tunis), et dont les autres avaient été laissés pour l'usage local (source des Indigènes). Ces derniers ont été captés avec possibilité d'adduction dans l'été 1907, de sorte que maintenant le graphique brut représente les débits ou des deux sources ou de Bou-Saadia et de la source des Indigènes avec décharge, ou Bou-Saadia total, ou Bou-Saadia avec décharge. Le premier cas se produit parfois en été, le deuxième souvent en février et mars.

Toutes ces causes de perturbation pourraient faire craindre que l'on ne puisse jamais déduire de ces graphiques bruts de débit qu'une connaissance imparfaite et assez grossière du débit réel des sources. Heureusement, d'autres données nous viendront en aide, et cette connaissance atteint une précision relative, sur laquelle nous ne croyions pas d'abord pouvoir compter, et qui, dans le cas du Zaghouan notamment, nous a amené à aborder le problème même des infiltrations.

D'abord, dans toutes les périodes de basses eaux, soit d'octobre à janvier ou février, l'insuffisance des sources voisines de leurs minimas et le développement de Tunis et de sa banlieue nécessitent la fermeture de toutes les décharges. On a donc pendant ces périodes *le débit total des sources amenées en totalité*, comme la *Nymphée*, le *Djoukhar*, *Bou-Saadia* (Tunis) total, ou même avec la source des Indigènes. Les portions de graphiques relatives à cette période offrent donc une base permettant d'apprécier les décalages produits par les décharges en autres temps. De plus, cette période voit en fin septembre parfois et toujours en octobre l'apparition des premières pluies. Quelques copieuses qu'elles soient, elles sont d'ailleurs en grande partie évaporées ou retenues par la saturation des parties hautes asséchées des

réservoirs des sources : elles ne donnent donc naissance qu'à une « infiltration apparente » (1) faible. Mais la « perméabilité directe » et la conductibilité des calcaires fissurés sans humus, souvent cariés, qui constituent tous les réservoirs des grandes sources, sont telles que, dès le mois d'octobre, une pluie de quelques centimètres, même en plusieurs jours, fait toujours sentir son influence quelques jours après, par un léger maximum absolu ou relatif (2). Ce maximum se produit d'ailleurs aussi en périodes de décharge, si les vannages n'ont pas été changés et souvent même avec plus d'intensité, pendant la saturation des réservoirs d'alimentation. Réciproquement, d'ailleurs, si une courte période de pluie, dont on peut apprécier l'importance par les relevés du service météorologique, est suivie au bout d'un temps connu à peu près pour chaque source, d'un maximum absolu ou relatif, c'est que rien n'a été changé dans l'ouverture des vannages au griffon. Pour la source de la Nymphée, un critérium encore plus précis résulte de l'existence directement au-dessus de la source d'un ravin toujours sec : le couloir de la Nymphée, dont l'influence s'est fait sentir, même par des pluies de fin juin et d'août consécutives à des coups de sirocco pendant lesquels la température de l'air avait dépassé 35°.

Un autre critérium peut indiquer dans une certaine mesure si le captage d'une source à un moment donné est bien total : c'est lorsqu'il s'agit de sources provenant d'un massif calcaire à surface limitée comme le Zaghouan. En planimétrant les contours de ces affleurements sur une carte géologique assez précise, on en déduit le périmètre d'alimentation probable des sources, soit S. La même opération appliquée aux graphiques de débit d'une année, ou mieux cette opération partielle complétée par l'intégration des branches asymptotes des courbes de prévision de débit en épuisement (3) donneront le contingent annuel d'eau fourni par ces sources. Le rapport de ce nombre à la surface S fournira la hauteur moyenne d'infiltration qui, divisée par celle de la chute de pluie moyenne, donnera le coefficient d'infiltration.

Ce dernier nombre est, comme on sait, une donnée très variable, qui peut cependant se prévoir à peu près pour un état donné de la surface réceptrice et des conditions météorologiques.

(1) Voir, p. a, la définition d'une infiltration apparente.

(2) Voir p. b.

(3) Voir p. c et *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 20 juin 1910.

Si le coefficient ainsi mesuré donne une valeur bien inférieure au coefficient probable, c'est, ou que les sources ont des pertes, ou que le captage de l'une au moins d'entre elles n'est pas total — la réciproque est d'ailleurs vraie approximativement.

C'est ainsi que, pour la source Aïn-Ayed du Zaghouan, je me suis demandé si les débits de 2.100 à 2.900 mètres cubes, constituant le graphique brut le plus élevé de cette source, représentent bien son débit total ou seulement son débit diminué d'un déversement moindre, il est vrai, pour les besoins locaux. Le calcul précédent m'ayant fourni des résultats voisins de 0,9, il s'ensuit que le captage de cette source doit être considéré comme total, et que s'il existe une décharge, ou des pertes, elles ne représentent qu'une faible partie du débit de l'ensemble.

Le présent travail a pris pour bases : d'abord un tableau que j'ai construit pour les années 1907, 1908 et 1909 *pro parte*, dont je donne la première ligne, et qui ne pourrait tenir dans l'étendue d'une note résumée. Ce tableau comprend les colonnes suivantes :

1° Date ; 2° nombre de jours à partir du 1^{er} janvier 1907 ; 3° température et vitesse du vent au Djoukkar (pénitencier), ou aussi à Bir-Mcherga ; 4° température à Bou-Remada (au pied nord-ouest du Zaghouan, en face du centre du massif). — Chutes de pluies à : 5° Moghrane ; 6° Zaghouan, ville ; 7° Zaghouan, Poste Optique ; 8° Bou-Remada ; 9° Bir-Mcherga ; 10° Djoukkar (pénitencier), et *pro parte* : Djoukkar (l'Oukanda) ; 11° Bou-Saadia (sources) ; 12° Soudga (maison forestière). — Débits des sources (résultats de lectures effectives seulement) de : 13° Aïn-Ziga ; 14° Zaghouan, Nymphée ; 15° Zaghouan, Aïn-Ayed ; 16° Aïn-Ben-Saidan ; 17° Aïn-Djoukkar ; 18° Drain du tunnel de Bou-Tiss ; 19° Bou-Saadia, débit de la conduite de Tunis ; 20° s'il y a lieu, notamment en 1909, Bou-Saadia, Indigènes et débit de l'oued Bargou (jaugeages directs : M. Clidat, conducteur des ponts et chaussées).

Les données météorologiques, jour pour jour, sont dues à la grande obligeance de M. Ginestous, directeur du service de la Régence, qui a bien voulu me communiquer les séries de mesures renfermées dans ses dossiers. Les chutes de pluie, sauf celles de Moghrane et de Bou-Saadia relevées par la Compagnie des eaux, ont d'ailleurs été publiées jour par jour dans des tableaux insérés dans le *Bulletin de la Direction de l'agriculture et du commerce*, jusqu'au deuxième trimestre de 1909. A partir de ce mo-

ment, les relevés mensuels figurent seuls dans cette publication, et sont loin d'avoir la même valeur au point de vue de mes études.

Les graphiques bruts et les graphiques « corrigés » d'après la méthode précédente ont été construits sur la même feuille, dont j'ai donné un extrait dans un travail précédent à l'échelle de 1 millimètre pour un jour et de 1 millimètre pour 50 mètres cubes par jour de débit pour les grandes sources, et de 1 millimètre pour 5 mètres cubes pour les petites venues : Aïn-Ziga et celle du tunnel de Bou-Tiss. L'origine des temps était fixée au 1^{er} janvier 1907 : le graphique de 1908 reporté sur celui de 1907, en faisant coïncider, pour la commodité des évaluations, l'ordonnée $t=0$ avec l'ordonnée $t=400$ (de 1908), et celui de 1909, de même, avec l'ordonnée $t=800$.

Les données utilisées par la suite résultent de la comparaison de ces graphiques « corrigés » avec le tableau hydro-météorologique cité plus haut.

II — Sur la construction des formules de prévision de débits

On sait, d'après les notes de M. Boussinesq et celles de M. E. Maillet, que j'ai citées dans un travail précédent, que les formules donnant le débit à un moment donné d'une période d'épuisement en fonction du temps affectent, dans le cas d'un seuil très élevé, la forme d'une exponentielle simple :

$$Q = Ae^{-\alpha t}$$

ou d'une série exponentielle assez rapide avec un seul exposant α :

$$Q = \sum A_p e^{-p\alpha t}$$

ou d'une série exponentielle à deux exposants α et β n'ayant souvent pas de commune mesure :

$$Q = \sum A_p e^{-p\alpha t} + \sum B_q e^{-q\beta t}.$$

Ce cas se présente notamment, dans le cas voisin du premier, de M. Boussinesq, où le contour de la paroi se compose d'un parallélipède dont une portion rectangulaire de la face regardant l'axe Ox , et contenant le point O , a été enlevée (fig. 2). Ce cas rentre d'ailleurs dans le précédent, si les deux exposants α



Fig. 2.

et β ont une commune mesure.

Dans le cas d'un seuil très bas ou d'une ligne de faite très élevée, on sait qu'on a pour le débit une expression de la forme :

$$Q = \frac{A}{1 + \alpha t} \quad \text{ou} \quad Q = \frac{A}{1 + \alpha t} + \varphi(t).$$

φ étant une quantité assez faible, tendant vers zéro quand t augmente indéfiniment et plus rapidement que $(1 + \alpha t)^{-1}$. On a donc aussi à envisager ce cas, que nous rencontrerons d'ailleurs.

Enfin, dans le cas d'une nappe à surface libre plane ou presque plane, descendant en épuisement d'un mouvement presque uniforme, sous l'influence, par exemple, d'une petite source ascendante agissant presque à la manière d'un forage, on a un graphique presque rectiligne et une variation de la forme :

$$Q = at + b + \psi(t).$$

On a donc à envisager trois types de formules :

Les formules algébriques entières assez rares (3^e cas);

Les séries exponentielles à un seul exposant « principal » α ou à deux : α et β ;

Les formules hyperboliques représentant des hyperboles équilatères ou courbes très voisines.

Dans ce qui suit, je suppose l'opération de la « correction du graphique » effectuée avec assez de précision pour offrir sinon des courbes entières, au moins des portions de courbes assez exactes pour qu'un *point quelconque* pris sur elles puisse servir de base à un calcul, et *non plus certains points particuliers*.

J'ai exposé dans un travail précédent la détermination d'une formule à trois termes pour représenter les débits de la source de la Nymphée : mais pour que ce calcul offre une vraie certitude, il importerait de voir si la courbe obtenue passe assez près de tous les points connus avec quelque précision; opération fort longue, d'autant plus que les systèmes de coefficients possibles sont en très grand nombre. Il importerait en outre de voir si une formule à quatre termes ne conviendrait pas mieux.

La méthode suivante faisant intervenir le calcul des différences m'a fourni plus rapidement les courbes les plus voisines du graphique réel.

1^o *Graphique « corrigé » rectiligne.* — Les différences premières sont constantes, ou les différences secondes négligeables.

On choisit alors comme coefficients de t ceux qui donnent avec les valeurs mesurées une différence moyenne nulle.

Si ce sont les différences n^{es} qui sont nulles ou négligeables, on a une série entière, application directe de la formule d'interpolation de Newton, cas non rencontré d'ailleurs par la suite;

2^o *Série exponentielle* à un seul « exposant principal α ». C'est le cas le plus important et le plus fréquemment rencontré par la suite. On peut d'ailleurs presque toujours y faire rentrer, sans grande erreur, celui de deux exposants α et β , en prenant assez de termes dans la série.

La première opération est celle de la détermination de α . Pour simplifier, j'emploierai partout les puissances de 10^{-at} . J'ai appliqué la méthode de la manière suivante :

Supposons connu un arc du graphique d'épuisement correspondant à 100 jours, ce qu'il est possible de trouver tous les étés. J'ai posé :

$$Z_0 = 1 \quad \text{et} \quad Z_{100} = 10^{-100\alpha}.$$

On en déduit :

$$\alpha = \frac{1}{100} \text{colog. } Z_{100} \quad (0 < Z_{100} < 1).$$

On forme ensuite la progression arithmétique suivante, de raison r :

$$\begin{aligned} Z_0, 1 - \frac{Z_{100} - Z_0}{r}, 1 - 2 \frac{Z_{100} - Z_0}{r}, \dots, Z_{100} \\ = 1 \quad = Z_1 \quad = Z_2 \quad \dots = Z_{100}. \end{aligned}$$

J'ai remarqué que dans tous les calculs suivants, il a suffi de prendre $r = 10$, c'est-à-dire 10 points différents de la portion du graphique considérée.

On a alors posé :

$$\beta = \frac{Z_{100} - Z_0}{10},$$

d'où

$$Z_p = 1 - p\beta \quad \text{et} \quad Z_{100} = 1 - 10\beta.$$

Il suffit alors d'évaluer les valeurs de t correspondant aux termes de cette progression, d'où l'on déduira, au moyen du graphique « corrigé », les valeurs du débit Q . Or, on a l'égalité :

$$1 - p\beta = Z_{10p} = 10^{-at_{10p}}$$

L'expression de Q étant un polynôme entier en 10^{-at} prend donc les valeurs telles que Q_p pour des valeurs de la variable Z_p en progression arithmétique : si donc on en connaît les différences premières, secondes, etc., il s'exprimera en fonction de Z_p et de ces différences au moyen de la formule d'interpolation de Newton. On a :

$$(1) \quad \alpha t_{10p} = \text{colog } Z_{10p} = \text{colog } (1 - p\beta).$$

Si on suppose $t_0 = 0$, on aura donc les suites :

$$\begin{array}{ccccccc} Z_p & 1 & 1-\beta & 1-2\beta & \dots & 1-p\beta & 1-10\beta \\ t_p & 0 & \frac{1}{\alpha} \text{colog } (1-\beta) \dots & \frac{1}{\alpha} \text{colog } (1-p\beta) & = & \frac{100 \text{ col } (1-p\beta)}{\text{col } (1-10\beta)} \\ & & & & & t_{100} = 100 \text{ (jours)} \\ Q_0 & Q_{10} \dots & & Q_{10p} \dots & & Q_{100} \end{array}$$

On se donnera alors *a priori* soit Z_{100} , soit β , d'où les nombres des trois suites précédentes.

On y adjoindra ensuite le tableau des différences des quantités Q , ce qui mènera à un polynôme à terme constant, par suite à un polynôme en 10^{-at} à terme tout connu $\neq 0$, c'est-à-dire à un débit asymptote non nul, ce qui est possible dans les cas de sources complexes renfermant par exemple une résurgence de cours d'eau permanent, mais non dans celui d'une source simple de terrain perméable, capable de produire l'épuisement total d'un réservoir limité. On remplacera donc, dans le dernier cas, les nombres de la troisième suite par les rapports :

$$1, \quad \frac{Q_{10}}{Q_0}, \quad \frac{Q_{20}}{Q_0}, \dots, \frac{Q_{100}}{Q_0}.$$

On donnera ensuite à Z_{100} des valeurs différentes comprises entre 0 et 1. On en déduira pour chacune d'elles les quantités t_{10p} qui ne seront plus les mêmes, sauf $t_0 = 0$ et $t_{100} = 100$ par la formule (1) et au moyen du graphique, les quantités Q_p dont on construira le tableau des différences successives.

En général, comme dans la plupart des cas analogues, jamais les différences supérieures ne s'annulent complètement, cela tient à l'insuffisance des « corrections » et surtout aux *irrégularités naturelles de débit*. Le plus souvent même, les différences d'un certain ordre (5^e et 6^e) offrent des signes alternés qui font croître

rapidement celles des ordres supérieurs (Influence aussi du terme en Z^9 , de la formule de Fourier ?) On considère alors l'écart maximum des différences secondes et troisièmes, soit la différence entre la plus grande et la plus petite de ces quantités :

$$\delta(\Delta_2) = \Delta_{2\text{Max}} - \Delta_{2\text{Min}}.$$

Dans tous les cas suivants, il a été possible de trouver une valeur, ou un groupe de valeurs voisines de Z_{100} qui a fourni pour ces écarts les valeurs les moins fortes. Pour le Zaghouan, par exemple, ces valeurs ont été de 80 à 90 mètres cubes (avec la suite $Q_0 - Q_{100}$). On en déduit que le nombre des termes à prendre dans le développement est 3 ou 4, et que la valeur de α correspondante est l'« exposant principal » cherché. On calcule ensuite la différence seconde moyenne Δ_{2m} dans le tableau correspondant à cette valeur de Z_{100} . On en déduit alors les valeurs calculées du débit par la relation (1) :

$$Q_p \text{ calc.} = Q_0 Z_p + \frac{\Delta_{1m}}{\beta} Z_p (Z_p - 1) + \frac{\Delta_{2m}}{2\beta^2} Z_p (Z_p - 1) (Z_p - 1 + \beta).$$

En général, les premières valeurs calculées Q_1, Q_2, Q_3 sont très voisines des débits mesurés ; mais souvent les dernières s'en éloignent notablement (de plus de 100 à 200), mais toujours dans le même sens, bien que la courbe obtenue ait même allure que le graphique de débit mesuré. On modifie alors légèrement la différence première initiale, ainsi que la différence seconde constante pour ramener toutes les valeurs calculées à coïncider autant que possible avec les valeurs mesurées — ce que j'ai toujours obtenu en général à 25 ou 30 unités près, précision suffisante dans tous les cas envisagés plus loin.

Si alors on appelle D_1 et D_2 ces différences modifiées, on aura la formule de prévision suivante :

$$Q = \left[Q_0 - \frac{D_1}{\beta} + \frac{1 - \beta}{2\beta^2} D_2 \right] 10^{-\alpha t} + \left[\frac{D_1}{\beta} - \frac{2 - \beta}{2\beta^2} D_2 \right] 10^{-\alpha t} + \frac{D_2}{2\beta^2} 10^{-3\alpha t}$$

avec

$$\beta = \frac{1 - Z_{100}}{10} = \frac{1 - 10^{-100\alpha}}{10}.$$

(1) Dans tout ce qui suit, pour simplifier l'écriture des formules, j'ai remplacé les indices 10 p par p , tout en conservant t_{100} et Z_{100} .

La considération des différences troisièmes s'introduit surtout dans le cas de formules à terme tout connu : les calculs un peu plus compliqués se conduisent de la même manière.

Dans un autre cas (Bargou, source complexe) j'ai toujours été obligé de faire intervenir une correction représentant une fraction rationnelle décroissante en $10^{-\alpha t}$. Il semblerait que là s'exercerait une influence particulière de la « transpiration du terrain » et de la reprise par l'atmosphère, dans ce bassin-versant si étendu et en partie *si superficial*.

Cas de deux exposants α et β . — Supposés incommensurables entre eux. Les calculs sont plus longs que dans le cas précédent. On posera :

$$Q = u + v,$$

u étant un polynôme en $10^{-\alpha t}$ et v en $10^{-\beta t}$.

On supposera d'abord u connu : alors v ne renfermant plus qu'un « exposant principal » rentre dans le cas précédent. On détermine alors les valeurs de β qui donnent le moindre écart des différences secondes pour la valeur de α considérée, puis on fait varier α et l'on détermine chaque fois ce moindre écart. On constate qu'il existe un système de deux de ces valeurs α_1 et β_1 qui donne un écart inférieur aux autres : on a ainsi les deux exposants principaux.

Il semble que ce soit lorsqu'on a de longues séries de mesures étendues sur de nombreuses années que l'on doit être amené à ce choix de deux exponentielles. Exemple pour les sources des environs de Paris.

D'ailleurs, dans le cas théorique d'un seuil très haut, central, de hauteur H et de largeur 2ω et d'un réservoir parallélépipédique de largeur totale $2l$, non infinie, et dont la distance du fonds au seuil serait L , il semble qu'on ait affaire à deux exposants principaux (fig. 2).

$$\alpha = M \pi^2 \frac{H}{m} \left[\frac{1}{L^2} + \frac{1}{(l - \omega)^2} \right]$$

et

$$\beta = M \pi^2 \frac{H}{m} \left[\frac{1}{L^2} + \frac{1}{(l + \omega)^2} \right]$$

Ils ne deviennent égaux que si l devient très grand : nappe indéfinie latéralement, comme dans le premier cas traité par

M. Boussinesq; ou quand ω devient nul ou négligeable : seuil très étroit. C'est d'ailleurs le cas d'un filet d'eau unique ou d'un faisceau ramassé de couloirs produisant une « saignée » dans une région élevée d'un grand réservoir. C'est, par exemple, ce qui explique pourquoi j'ai pu représenter avec un seul de ces exposants le débit des sources de Zaghouan, malgré l'élévation de la ligne de faite de la surface libre et la dissymétrie du contour paroi par rapport à elles.

3° Le cas de formules « hyperboliques » $\frac{A}{1 + \alpha t}$ se traite d'une manière analogue.

On pose la progression arithmétique :

$$Z_0 = 1 \quad Z_1 = 1 - \beta \dots \quad Z_{100} = 1 - 100\beta = \frac{1}{1 + 100\alpha}$$

$$Z_p = 1 - p\beta = \frac{1}{1 + p\alpha t}$$

d'où :

$$t = \frac{1}{\alpha p} \left[\frac{1}{Z_p} - 1 \right] = \frac{\beta}{\alpha(1 - p\beta)} \quad (p = 10, 20, \dots, 100)$$

Z_{100} ou β étant choisis arbitrairement. Le graphique « corrigé » donne la valeur Q_p correspondante. Si, alors, la source rentre dans le cas d'un seuil très bas, Q_p doit être proportionnel à Z_p , par suite, les différences premières être constantes. Sinon, on détermine les valeurs de α qui fournissent le moindre écart pour les différences secondes ou troisièmes, et l'on achève comme plus haut. La formule du débit est alors un polynôme entier en $Z = \frac{1}{1 + \alpha t}$, ordonné par rapport aux puissances de ce binôme.

Je n'ai d'ailleurs trouvé qu'une source rentrant à peu près dans ce cas : celle du Djoukkar, et il n'a pas été nécessaire de faire intervenir plus d'un terme dans sa formule de prévision de débit.

III — Le problème général de l'infiltration

L'« infiltration », surtout celle qui donne naissance aux sources, est un phénomène naturel des plus complexes. Comme la plupart

des questions d'hydrologie, ce problème offre, de quelque côté qu'on l'aborde, toujours plus d'inconnues que d'équations.

La quantité d'eau infiltrée sur une surface donnée et capable d'alimenter des sources ou des nappes permanentes est une fonction d'un nombre considérable de variables dont il est fort difficile, sinon impossible, de tenir compte en totalité. Les principales ont été énumérées dans la remarquable brochure de M. Henry intitulée : *Les Forêts et les pluies*. Je n'en cite plus loin que quelques-unes, celles dont j'ai pu apprécier l'effet.

De même que dans un système mécanique on considère des forces intérieures et des forces extérieures, pour un bassin-versant et un réservoir donnés, on peut considérer des « conditions intérieures d'infiltration » et des conditions extérieures. Les premières sont relatives : 1° à l'état de la surface réceptrice ; 2° à celui du réservoir souterrain d'emmagasinement ou de circulation ; 3° celles qui sont le plus accessibles à l'observation, relatives aux couloirs de circulation et d'émergence. Les secondes sont principalement météorologiques : 1° chute de pluies ou de neige : répartitions et débits, température, vitesse du vent au moment et peu après et ensuite, transpiration et reprise par l'atmosphère s'il y a lieu : fait très fréquent dans les pays chauds.

Dans le nord de l'Afrique, il est facile de constater que seuls les calcaires cariés et fissurés *sans humus* et les *pierrailles* sont capables d'offrir un coefficient d'infiltration élevé. C'est le cas de la plupart des bassins-versants des sources considérées. Les sources des grès ne sont importantes que quand ces derniers sont fissurés et décapés et *presque stériles à la surface*.

En raison de la complication même du problème, il m'a semblé commode de définir plusieurs données permettant de caractériser une infiltration totale.

J'appellerai *infiltration instantanée* en un temps donné et sur un périmètre donné la quantité d'eau qui, tombée dans ce temps sur ce périmètre, est entrée dans le sol au moment même, ou peu de temps après, sans faire aucune hypothèse sur sa destination future. Lorsqu'une période de pluies se compose de plusieurs chutes assez espacées pour permettre l'assèchement du sol dans l'intervalle, cette donnée a un sens précis pour chaque pluie, et il y a lieu de définir un coefficient « d'infiltration instantanée » dans des conditions déterminées.

C'est cette donnée qui se mesure au moyen des « jauges Dalton », par exemple, ou au moyen de caisses imperméables de faible profondeur remplies du sol étudié (1).

L'*infiltration apparente* est le contingent d'eau qui *semble* être apporté à une source pendant une période de pluies encadrée par deux minimums relatifs ou absolus de part et d'autre de cette période. Le contingent « apparent » sera mesuré comme



Fig. 3.

l'aire comprise entre la portion m_1Mm_2 du graphique corrigé et les deux courbes d'épuisement comprises entre ces minimums. Cette évaluation suppose donc la connaissance d'une formule « moyenne » de prévision de débit en épuisement, figure 4.



Fig. 4.

L'*infiltration apparente* σ sur un massif donné et pour une période de pluies donnée est la somme des « infiltrations apparentes, relatives aux différentes pluies. Cette donnée n'est en somme accessible à l'expérience que pour des périodes de pluies assez longues et assez distantes pour affecter entre elles de minimums les graphiques de toutes les sources (2).

L'*infiltration apparente* annuelle est cette donnée étendue au graphique de toute une année, d'une période d'étiage à la suivante. Cette dernière est accessible avec certitude et parfois, surtout dans les pays de pluies d'hiver comme la Tunisie, avec précision. — Il y a alors lieu de considérer des *coefficients d'infiltration apparente*.

Si les sources ou le réservoir interne ne subissent aucune perte, cette définition coïncide avec la suivante.

L'*infiltration totale*, pour une période de pluies donnée, est la quantité totale d'eau entrée dans le sol puis parvenue d'une façon définitive aux sources et aux nappes profondes. Si cette quantité

(1) Voir à ce propos : H. DESSOLIERS, *Contributions diverses à l'Hydrogénèse*, Alger, 1907 et Paris (Béranger) 1908, p. 56 et suivantes.

(2) J'appellerai par la suite *maximum* ou *minimum absolu* tout point où la tangente est parallèle à l'axe des temps (maximums ou minimums mathématiques) — *maximum* et *minimum relatif* tout point où la tangente au graphique vrai est parallèle à la courbe moyenne. Ici intervient une question d'interprétation : c'est une définition expérimentale (fig. 3).

est supérieure à l'infiltration apparente, c'est qu'une partie des eaux est retenue par la « saturation » du réservoir interne. Si, au contraire, elle lui est supérieure, c'est qu'une partie ou la totalité des eaux de saturation a été entraînée jusqu'aux griffons des sources.

En général, dans les pays à périodes d'infiltration aussi courtes et aussi nettement limitées que dans le nord de l'Afrique, l'*infiltration apparente annuelle* est égale à l'infiltration totale annuelle diminuée des pertes possibles, soit aux captages, soit en profondeur, quand le réservoir est en relation avec des nappes profondes.

La différence entre l'*infiltration instantanée annuelle* et l'*infiltration totale annuelle* représente une donnée très importante dans les pays chauds : c'est la quantité d'eau qui, après s'être infiltrée jusqu'à une certaine profondeur, a ensuite été soustraite à l'alimentation soit des sources, soit des nappes profondes. Le principal processus de cette soustraction est ce qu'on appelle la *reprise directe ou indirecte par l'atmosphère*.

La *reprise directe* a lieu d'abord par évaporation à la surface libre des ménisques des *tubes de transpiration* dans l'air qui remplit les vides de la roche perméable au-dessus de la surface libre. Ce phénomène a lieu dans tous les pays et dans toutes les roches. A une distance suffisante de la surface libre, il est vite arrêté par la saturation de l'air. Dans l'Europe moyenne soumise au régime des pluies d'été, il n'affecte guère que ces dernières, à l'exclusion des pluies d'hiver. Dans le nord de l'Afrique, il se produit déjà en hiver entre deux périodes de pluies, alors que les tranches infiltrées sont encore à faible profondeur. Si la surface offre une *perméabilité directe* sans humus, et si la roche aquifère est *perméable en grand*, l'attraction capillaire sur les ménisques est faible, la descente rapide soustrait bientôt la tranche à cette action : de là une *infiltration totale*, au moins l'hiver, très voisine de l'*infiltration instantanée*, et même de la chute de pluie (Zaghuan). Il faut d'ailleurs aussi que la hauteur de roche au-dessus de la surface libre soit suffisante : si elle ne l'est pas, comme par exemple dans les éboulis calcaires sur argile, ou dans les calcaires minces ou barrés de lits marneux, la descente s'arrête, la chaleur et la sécheresse de l'été ont vite fait d'évaporer les eaux recueillies par des puits ou des sources. Si maintenant les roches sont

perméables en petit, d'abord l'entrée de l'eau est plus lente, d'où diminution de l'*infiltration instantanée*, surtout s'il y a de la végétation ou du limon (grès de Kroumirie, de Grombalia, éocène du Zaghouan). En outre, les attractions capillaires sont bien supérieures, d'où diminution de la vitesse de descente, et même *remontée* pendant les sécheresses. La circulation de l'air est, il est vrai, moins intense que dans le premier cas, par suite de l'étroitesse des pores; mais cet avantage est compensé et bien au delà par la *proximité du sol où la dernière tranche infiltrée est toujours maintenue*. On en aura une idée, par exemple, en assimilant grossièrement les tubes de transpiration et les fissures, etc., à des tubes cylindriques capillaires. On sait (loi de Poiseuille) que le débit de tels tubes est inversement proportionnel aux quatrièmes puissances des diamètres.

Ces faits expliquent déjà à eux seuls pourquoi les grandes sources de cette région ne peuvent avoir comme réservoirs que des masses de calcaires épais et fissurés formant de hautes montagnes, et jamais des terrains perméables en petit, *surtout couverts d'humus*.

Un « témoin » et une preuve irréfutable de l'intensité de cette *reprise par l'atmosphère* est l'existence de l'« incrustation ou carapace ». L'explication de son origine fournie par Pomel, corroborée par les observations si typiques de M. Pervinquière, à Sbeitla notamment, et par les miennes, me semble aujourd'hui hors de doute. D'après M. Pervinquière, elle incruste tous les terrains, mais principalement l'infracrétacé et le crétacé du centre tunisien. La principale raison de cette préférence est que ces terrains sont composés d'une alternance de lits minces marneux et calcaires, et portent souvent des couches peu épaisses de pierailles éboulées. C'est dans les limons du Sahel de Sousse et de Sfax que je l'ai trouvée le plus développée; et c'est aussi dans cette région que la *reprise par l'atmosphère* offre le plus d'intensité. D'autre part, les calcaires fissurés et épais comme ceux du Zaghouan et du Bargou n'en portent presque pas, il n'y en a que dans les éboulis, car là, la *reprise directe* ne peut avoir lieu qu'en profondeur, est relativement faible et ne donne jamais lieu à une évaporation suffisante pour obstruer les pores ou les fissures. — Sa rareté relative sur les grès siliceux tient à leur composition chimique.

On constate en outre que cette incrustation devient de moins en moins fréquente à mesure qu'on quitte la courbe de 600 millimètres de pluie annuelle pour s'avancer dans les régions pluvieuses du littoral nord : c'est qu'alors l'humidité moyenne est plus grande, les averses d'été moins rares, toutes conditions moins favorables à la *reprise par l'atmosphère*.

Un autre phénomène du même ordre et que l'on pourrait appeler une *reprise indirecte*, est produit par la « transpiration » des végétaux situés sur le bassin-versant. On sait qu'on appelle ainsi l'évaporation de l'eau par les feuilles pendant la période de végétation pour les plantes à feuilles caduques, toute l'année pour les arbres à feuilles persistantes, qui constituent presque à eux seuls la brousse et les forêts de résineux. Les plantes annuelles qui périssent tous les ans dès le mois de mai n'interviennent qu'en hiver où elles ont une action peu marquée ou difficile à déceler. L'effet de la transpiration est encore augmenté dans les mois d'été par suite de la température (moyenne de 17 à 19°, maximums supérieurs à 30° à peu près tous les jours du 1^{er} juin au 1^{er} octobre) et surtout, ce qui n'a pas lieu en Europe, du fait de l'absence presque totale de pluie en cette saison. Les arbres donc, non seulement « transpirent » mais vivent par nécessité aux dépens des eaux, parfois assez profondes, que leurs racines souvent démesurées vont puiser directement, ou même indirectement, dans les nappes libres, soit dans les réservoirs mêmes des sources.

On peut d'ailleurs remarquer le fait suivant : le caractère chétif de la végétation arborescente, par suite duquel certaines brousses (chênes) ne peuvent pas devenir forêts malgré des efforts consciencieux et persévérants, tient principalement à l'absence au moins pendant l'été d'une quantité d'eau assez abondante et assez près de la surface. C'est ce qui explique, outre des considérations botaniques et chimiques (influence du calcaire), le développement plus vigoureux des mêmes végétaux sur les grès ou les sables poreux, que sur les calcaires — par exemple aussi ce fait que dans la Kroumirie si humide, la vraie forêt n'existe que sur les grès presque sans sources, tandis que les calcaires éocènes ou sénoniens avec sources ne présentent qu'une brousse basse. En outre, les terrains incrustés dans la Dorsale sont presque les seuls à porter de vrais peuplements forestiers : thuyas de Grom-

balia, de Sainte-Marie-du-Zit, puis d'Alep de l'Oued-el-Kébir et du Djebel-Mansour (éocène et sénouien incrustés).

Quoi qu'il en soit, dans l'étude des infiltrations par les débits des sources, il est impossible de séparer les effets de ces deux modes de reprise directe par l'atmosphère, et indirecte par les végétaux. On ne peut d'ailleurs nier qu'ils se font sentir partout, même sous des épaisseurs de roche comme celle du Zaghouan, qui atteignent souvent plusieurs centaines de mètres, fort peu sur des sources profondes comme celles du Djoukkar, beaucoup plus sur des sources à réservoir peu épais et en partie superficiel comme celles du Bargou.

De quelle manière et dans quelle mesure faut-il tenir compte de cette action dans les formules de prévision de débit ?

On sait comment M. Boussinesq a tenu compte de l'action des ménisques dans les tubes de transpiration, en introduisant dans l'expression de h un terme négatif sensiblement constant — la « reprise atmosphérique » est ici une quantité bien plus importante, très petite d'ailleurs ou nulle, surtout à la fin de l'hiver, mais passant à la fin des sécheresses d'été par un fort maximum, dépendant surtout de l'état du bassin-versant et de la hauteur de roche au-dessus de la surface libre de la nappe.

On a vu que si l'on prend pour axe des y la trace supposée rectiligne du « contour libre », si l'on appelle 2ω la largeur et H la hauteur du seuil, on a pour le débit Q l'expression :

$$(1) \quad Q = 2\omega H \frac{dh}{dx}$$

pour $x = 0$.

Si, pour simplifier, on projette le tout sur le plan yOZ , on a :

$$\frac{dh}{dx} = tg\varphi \quad (\text{fig. 5}).$$

et pour une variation de débit en fonction du temps, en supposant H constant :

$$(2) \quad \frac{dQ}{dt} = 2\omega H \frac{d}{dx} \frac{dh}{dt} = 2\omega H \frac{d(tg\varphi)}{dt}.$$

La transpiration produit une ablation au voisinage de la surface libre. Si nous revenons à la notion de « filets d'eau » ou tubes de débit, les tubes ayant leur origine dans des parties assez reculées

du réservoir interne (tels que f , fig. 5), et assez voisines de la portion de surface libre à l'instant initial, n'arrivent pas jusqu'au contour libre. L'absorption par l'atmosphère ou les végétaux, qui s'exerce à la surface libre, les fait disparaître en un point de leur trajet, dont la position dépend de leur origine, de l'époque de l'année et de l'intensité de la transpiration. Si donc on considère une « surface de débit » telle que S' assez voisine du contour libre, toute une bande à la partie supérieure de cette surface est enlevée par la transpiration, seules les parties basses servent de « surface utile ». Si, en particulier, on considère la « surface de débit initiale » correspondant à la tranche verticale émise par le contour libre à l'instant t : c'est-à-dire le lieu des points où se trouvait chaque molécule de cette tranche immédiatement après son infiltration et sa descente au réservoir, soit S'_i , la tranche totale d'eau initiale correspondante aurait un volume égal à la tranche du contour libre augmentée de la tranche supérieure S_i

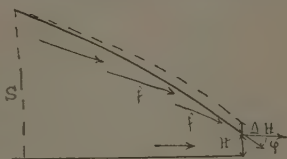


Fig. 5.

enlevée dans le trajet par la transpiration. Si la transpiration n'existait pas, on aurait pour le débit la valeur théorique indiquée plus haut, que l'on pourrait en somme calculer pour un réservoir et une « infiltration instantanée » donnés, valeur que je suppose résulter de l'équation (1). Mais par suite de la transpiration, il manque toujours une partie des tranches de débit du contour libre. La largeur du seuil restant constante, tout se passe comme s'il se produisait une diminution de H , soit $-dH$.

En outre, les parties du réservoir voisines du contour libre sont, en général, les plus mal protégées contre la « transpiration », beaucoup moins que les parties profondes d'où provient la tranche S'_i . C'est donc là que la dépression consécutive de la surface libre est la plus forte. Il s'ensuit donc une diminution de l'angle de raccordement φ , soit $-d\varphi$.

D'où une diminution de débit égale à :

$$dQ = \frac{dQ}{dH} dH + \frac{dQ}{d\varphi} d\varphi = 2\omega \frac{dh}{dx} dH + 2\omega H \frac{d^2h}{dx dt} dt$$

ou :

$$dQ = 2\omega \left[tg\varphi dH + H \frac{d(tg\varphi)}{dt} dt \right]$$

Lorsque le trajet moyen des filets d'eau est très long, comme dans certaines sources à énormes réservoirs assez peu conducteurs, où le temps de parcours serait de l'ordre d'une ou de plusieurs années, les variations de dH ne doivent guère se faire sentir : on doit donc pouvoir traiter le premier terme comme un terme soustractif constant.

Mais quand ce temps moyen est inférieur à une année, comme dans la plupart des petites sources, ou des grandes sources froides de roches perméables en grand, il subit des variations parfois très importantes, dépendant des conditions météorologiques et culturales qui se sont succédées pendant ce temps sur le bassin-versant. Ainsi, en automne, ce terme est bien supérieur à ce qu'il est à la fin de l'hiver.

Le deuxième terme renferme la variation normale du débit sous l'influence seule des infiltrations ou de l'épuisement, et la diminution par transpiration locale. Cette dernière est faible quand la vitesse de circulation au voisinage des griffons est grande : on peut d'ailleurs l'intercaler dans le terme en dH .

Dans le cas précédent, qui est celui que nous rencontrerons, l'influence de la transpiration peut donc se mettre sous la forme :

$$\frac{dq}{dt} = -\tau \quad \text{d'où} \quad -\Delta q = -\theta - \int \tau dt$$

θ étant un terme constant et faible, et τ un terme variable.

Si l'on appelle q le débit mesuré, Q le débit théorique, on a donc :

$$q = Q - \theta - \int \tau dt.$$

1° Comme première approximation, dans un pays à maximums de pluie d'hiver séparés par de longues sécheresses d'été, on pourrait considérer τ comme une fonction périodique offrant, par exemple, un minimum au 1^{er} avril et un maximum vers le 1^{er} ou le 15 septembre. Le raccordement avec l'année suivante est cependant incertain et arbitraire, par suite de la grande variation des pluies d'hiver d'une année à l'autre. On pourra poser, par exemple :

$$\tau = A \cos \lambda t + B \sin \lambda t.$$

Il semble ainsi que pour l'année 1908, dont l'été a été sans pluie, le débit de la source de la Nymphee eût comporté une correction de cette forme ;

2° On peut aussi, si l'on ne considère que le débit dans l'année, raisonner ainsi (fig. 6) :

Si l'on suppose qu'au printemps ou à la fin de l'hiver on ait bien le « débit théorique » de la source, à partir d'une date donnée t_0 , la dépression — ΔH se fait sentir (courbe I); elle croît, assez vite, jusqu'à un maximum assez méplat, puis décroît, et ce rapidement aux premières pluies, fin septembre et octobre, jusqu'à 0, dès avant les pluies de saturation (novembre-décembre). On a donc, au début de la période d'épuisement, une portion du graphique théorique telle que AB, dont le prolongement passerait par le point C au temps t , à la cessation de l'effet. Mais le graphique réel ne suit pas l'arc BC, mais un arc BC' qui ne fait plus partie de la courbe ABC, et s'en éloigne de plus en plus en se déprimant. Si on appelle φ l'angle de la tangente à BC avec l'axe des t , ψ celui de la tangente à BC' :

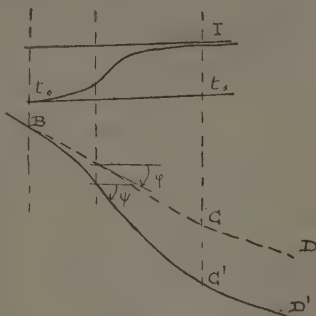


Fig. 6.

$$tg\varphi - tg\psi = A \frac{d}{dt}(\Delta H)$$

A étant une constante, ΔH l'ordonnée de la courbe I au temps t_1 , $tg\psi_1 = tg\varphi_1$.

Le graphique réel offre donc, avant les pluies d'alimentation qui le font monter, un arc CD du graphique théorique abaissé de la quantité CC'.

Si donc on connaît, par des mesures, ou *a priori*, la forme et l'expression de ce graphique théorique Q , on aura le débit réel q en retranchant une quantité φ (fig. 6) nulle pour $t = t_0$, égale à CC' pour $t = t_1$, et offrant une inflexion plus ou moins brusque dans l'intervalle. Ce peut être, comme dans 1°, un arc de sinusoïde ou de courbe trigonométrique. On peut aussi, et parfois plus commodément, prendre pour φ une fraction rationnelle dont les deux termes sont des polynômes entiers en e^{-at} ou e^{-st} ; on a ainsi une courbe ayant pour asymptote l'axe des t négatifs, tout près de cet axe (distance inférieure à l'erreur admise sur le

débit dès le point t_0), et une parallèle à cet axe à la distance CC' (fig. 5), vers les t positifs, tout près de cette asymptote, à partir de t_1 . Une telle fraction s'obtient facilement en donnant au polynôme, en dénominateur, un degré supérieur à celui du numérateur. On peut ainsi, dans bien des cas, avoir comme formule de débit une fonction rationnelle assez simple de l'exponentielle e^{-at} seule.

J'ai, par exemple, constaté qu'on ne peut représenter les débits d'épuisement de la source de Bou-Saadia au Bargou (avec la source « des Indigènes », dont une partie du bassin-versant est superficielle, qu'au moyen de la somme d'un polynôme entier en e^{-at} et d'une fraction rationnelle de la forme précédente, et jamais par un polynôme entier seul. Cette fraction rationnelle ne représente pas, comme on l'a vu plus haut, toute l'influence de la transpiration, mais seulement une limite inférieure : il me semble que la nécessité de son introduction soit une preuve de l'existence et de l'intensité de cette dernière.

J'ai insisté sur la « transpiration », parce que c'est en Tunisie un des facteurs principaux de l'épuisement des sources, au moins dans les terrains non caverneux et simplement assez perméables. C'est dans les roches *perméables en petit*, ou dans les couches perméables minces (exemple, crétacé des environs mêmes de Tunis) souvent la principale cause de leur non-existence, ou au moins de leur tarissement.

Cette considération nous permet de préciser un point du problème déjà abordé (1) de la comparaison d'une source en Europe, et de la même sortant d'un réservoir et sous un bassin-versant identiques dans l'Afrique du Nord. Dans l'est de la France, à Nancy par exemple, ou aura un maximum d'infiltration totale, soit à la fonte des neiges, dans les pays élevés, les Vosges par exemple, ou au moment des pluies d'avril : en Tunisie de même, lors du deuxième maximum hivernal de pluie (mars-avril). Les infiltrations totales pourront même n'être pas très différentes dans les deux pays, par suite, en France, de l'existence de la neige ou d'une température basse, qui saturent l'humus et alimentent ensuite le réservoir des sources — par suite, en Tunisie, de l'absence d'humus et de la pluviosité de l'hiver et même du printemps où sont groupées toutes les pluies de l'année.

(1) *Bulletin de la Société géologique de France* (4), IX, 1909, p. 461.

Pour fixer les idées, supposons des infiltrations instantanées égales. Le débit de la source française (courbe I, fig. 7) provenant surtout de fonte de neige, monte moins vite que celui de la source tunisienne : le maximum est plus lent à s'établir. Arrive la période d'épuisement (fin avril, mai) en France, les dernières infiltrations s'y produisent et ralentissent la baisse du débit ; en Tunisie, ces dernières infiltrations durent moins longtemps et l'on a plus tôt la vraie courbe d'épuisement. En France, les pluies ne cessent pas avec l'arrivée de l'été ; au contraire, à Nancy, par exemple, on a en juin un maximum de chute de pluie ; mais la végétation s'est réveil-



Fig. 7.

lée : les plantes annuelles se développent, les arbres, la plupart à feuilles caduques, se couvrent de feuilles. Ce développement nécessite des quantités d'eau considérables, lesquelles sont fournies ici par les pluies d'été. Ces dernières se partagent en deux portions ayant des destinations principales différentes : la première, évaporée, sert à l'entretien de l'humidité de l'air, par suite aide à la formation de nouvelles pluies ; la deuxième produit une infiltration instantanée dont la plus grande partie, sinon la totalité ou plus, est absorbée, puis assimilée ou transpirée par la végétation.

Cette dernière quantité peut d'ailleurs, même en France, être parfois insuffisante. C'est ainsi que, par exemple, d'après M. Houillier, le niveau hydrostatique moyen, par suite le débit des sources aurait baissé dans le bassin de la Somme par l'augmentation de la surface mise en culture. La baisse doit être certainement supérieure encore par le boisement (Voir les expériences de MM. Ototsky, Tolsky, Ebermayer, Henry, etc.). Mais en général, ces pluies d'été suffisent : elles servent surtout à la végétation et tout se passe simplement comme si elles ne parvenaient pas aux sources. Le graphique réel représente alors à très peu près la courbe d'épuisement théorique avec un coefficient de tarissement ne dépendant que de « l'appareil interne » (soit, par exemple, $\alpha = \frac{\pi^2 KH}{4\mu L^2}$, dans le premier cas de M. Boussinesq).

En Tunisie, on a aussi au début cette courbe théorique d'épuisement mais pendant un temps assez court ; bientôt la reprise

par l'atmosphère se fait sentir, reprise directe pour les bassins superficiels, reprise indirecte partout où il y a des arbres et cette dernière a lieu fatalement tous les ans par suite de la quasi-absence de pluies d'été, surtout avec les résineux. Ici, d'ailleurs, à l'inverse de la France, la végétation herbacée qui périt dès le mois de mai ne saurait entrer en ligne de compte. On a donc un graphique réel surbaissé par rapport au graphique théorique, comme dans la figure 7.

En France, en outre, les pluies d'arrière-saison ont parfois lieu sous forme de neige; dans tous les cas, elles coïncident avec l'arrêt de la végétation: par suite, tout en assurant la saturation des parties asséchées du réservoir interne, elles peuvent déjà avoir une influence durable sur les sources.

En Tunisie, les chutes de pluie importantes d'octobre-novembre produisent souvent des maximums relatifs ou même absolus rapides, par suite de la « perméabilité directe » des bassins-versants, et, il faut le dire, de la pauvreté générale de la végétation qu'ils portent, mais cette action n'a ni la durée ni l'ampleur qu'elle a en France. On voit donc que :

A égalité d'*infiltrations instantanées*, le graphique réel tunisien présente une *infiltration totale annuelle* moindre que le graphique français, à cause de la *Reprise par l'atmosphère* supérieure en Tunisie. Le maximum de printemps est aussi plus brusque et moins soutenu; enfin le graphique réel d'épuisement présente, par rapport au graphique « théorique » et au graphique français, une chute parfois considérable et qui ne s'arrête qu'aux premières pluies d'automne.

En outre, cette différence serait encore accrue par ce fait que l'« infiltration instantanée » *sur un même bassin-versant* doit être bien moindre dans un pays chaud et sans neige, comme la Tunisie, qu'en France. Beaucoup de bassins-versants français boisés et donnant cependant naissance à des sources importantes (grès de Fontainebleau, grès vosgiens, plateaux calcaires du Jura, etc., etc.), ne fourniraient, transportés sous le climat tunisien, avec leurs forêts (si les arbres pouvaient toutefois y vivre avec leur taille et leurs besoins d'eau), avec toute la perméabilité et l'étendue de leurs réservoirs, que des sources faibles et peut-être tarissantes, comme en offrent les grès de la forêt de Kroumirie où il tombe par endroits (Aïn Draham) *près de 1^m 80 de chute annuelle de pluie.*

Les influences météorologiques seront examinées plus loin.

Dès maintenant s'introduit la notion d'une différence bien tranchée entre les « pluies de saturation » et les « pluies d'alimentation » (1).

Cette différence est plus nette en Tunisie qu'en France, par suite de l'assèchement plus grand des parties hautes des réservoirs, surtout quand ces derniers sont élevés et de grandes dimensions. C'est ainsi que pour le Zaghouan, les pluies d'automne, dont l'action est cependant toujours marquée grâce à la perméabilité directe du bassin-versant, ne donnent lieu qu'à des infiltrations apparentes très inférieures aux infiltrations totales.

On ne peut pas, par suite, représenter une infiltration apparente, par une formule ne renfermant que : la hauteur de pluie, la température, la vitesse du vent, et, s'il y a lieu, le débit horaire de la pluie : il faut faire intervenir aussi le temps, c'est-à-dire l'époque de l'année où a lieu cette pluie. On pourra, par exemple, si t est le nombre de jours écoulés depuis une origine fixée jusqu'au centre de la période pluvieuse, T le temps écoulé jusqu'au maximum de l'année, prendre une formule telle que :

$$I = f[\varpi, \theta_m, v_m, t - T]$$

ϖ chute de pluie, θ_m température moyenne pendant, puis quelques jours après cette pluie, v_m vitesse moyenne du vent. On pourra admettre que s étant une constante pour l'année considérée, mais en réalité dépendant des pluies d'automne et de leur répartition : si $t - T < s$, on a des pluies de saturation totale ou partielle, on doit donc prendre par suite la formule :

$$I_1 = f_1[\varpi, \theta_m, v_m, t - T]$$

et que pour $t - T > s$, on n'a plus que des pluies d'alimentation, qui entraînent en outre des infiltrations des périodes précédentes : par suite on prendra non plus la fonction f_1 mais une autre f_2 et :

$$I_2 = f_2[\varpi, \theta_m, v_m, t - T].$$

On verra que les coefficients d'infiltration apparente peuvent,

(1) Voir à ce sujet : DELEMER « Études sur les crues de l'Ardèche » *Ann. des Ponts et Chaussées*, 2^e trimestre, p. 130 à 216, 1904.

dans cette dernière période, être supérieurs à l'unité. On a aussi en général, et toutes choses égales d'ailleurs :

$$f_2 > f_1$$

Équations générales de l'infiltration. — Sans entrer dans plus de détails, on peut résumer les données précédentes au moyen des équations suivantes :

Infiltration instantanée = pluie — évaporation instantanée — ruissellement.

$$(1) \quad I_i = \varpi - s - \rho$$

Infiltration totale (générale) = *Infiltration instantanée* — *Reprise atmosphérique*.

$$(2) \quad I_t = I_i - r_a$$

Infiltration totale (particulière à une source donnée). — *Infiltration instantanée* — *reprise* — *pertes* (au griffon, au réservoir, en profondeur, latéralement, etc.).

$$(3) \quad I'_t(\text{part.}) = I_i - r_a - p$$

Infiltration apparente = *Infiltration totale* — *saturation* + *entraînement* (Ici, infiltration particulière).

$$(4) \quad I_a = I'_t - s + e$$

ou encore, en tenant compte de l'équation (3) :

$$(4)' \quad I_a = I_i - r_a - p - s + e.$$

C'est d'ailleurs cette dernière donnée qui intéresse directement le débit des sources. On sait, en effet, que si t_1 est l'époque du premier minimum relatif, Q_1 le débit de la courbe d'épuisement correspondante, Q le débit réel entre les deux minimums, t_2 l'époque du deuxième minimum et Q_2 le débit d'épuisement, on a :

$$I_a = \int_{t_1}^{t_2} (Q - Q_1) dt + \int_{t_2}^{\infty} (Q_2 - Q_1) dt,$$

si le graphique d'épuisement est asymptote à l'axe des t .

S'il coupe cet axe à distance finie, au temps T (par exemple pour les sources tarissantes $T < 365$ j), ce qui arrive, par exem-

ple, si la source est un trop-plein d'une autre, on donnera T comme limite supérieure à la deuxième intégrale.

La position moyenne des maximums et minimums des sources de la Dorsale tunisienne, serait très difficile à déterminer avec précision. On peut en avoir une idée à une ou deux semaines près de la manière suivante :

Sur une même feuille, on construit le diagramme des chutes de pluie mensuelles moyennes, par exemple à Zaghouan-ville, publiées en 1902, par M. Ginestous (dans *Les pluies en Tunisie*, Tunis, Imp. Moderne, 1902), puis avec la même échelle des temps, le graphique des débits moyens journaliers pour chaque mois, reçus aux réservoirs de Tunis, calculés pour vingt années consécutives (Nombres extraits du rapport publié en 1905 par la Direction Générale des travaux publics).

On ne peut admettre évidemment que cette quantité est rigou-

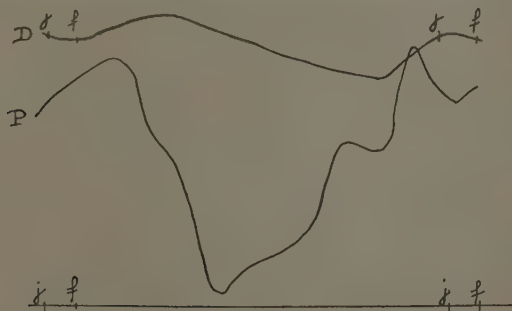


Fig. 8.

reusement proportionnelle au débit des sources, puisque les déversements aux griffons et les quantités laissées sur le parcours à l'utilisation locale sont plus considérables aux hautes qu'aux basses eaux : de plus, les pertes de la canalisation ne sont pas non plus proportionnelles aux débits. Cependant, cette quantité soustractive varie dans le même sens que le débit. On a donc un graphique plus atténué que le graphique réel mais offrant ses maximums et minimums aux mêmes époques.

C'est ainsi que ces quantités ont varié de 6.970 mètres cubes en octobre et 6.880 en novembre (basses eaux) à 8.140 en janvier, premier maximum, et 8.560 en avril et 8.600 en mai, deuxième maximum, maximum principal ou de printemps. Il en

résulte une moyenne de 7.838 et une variation relative de 0,22 rapportée à cette moyenne. Cette variation est, pour les raisons précédentes, bien inférieure à celles des sources, même du Djoukkar, la plus constante.

Quant au graphique des pluies, il offre, en juin, un minimum presque nul, monte lentement jusqu'en septembre, plus rapidement de septembre à octobre où il offre un maximum secondaire, légère baisse en novembre, montée rapide pour décembre où se trouve le plus grand maximum de l'année, de courte durée, il est vrai. Janvier est en dépression (minimum secondaire); février et mars sont en ascension modérée : deuxième maximum en mars. L'évaluation des aires montre que les pluies de janvier à mars sont notablement plus copieuses que celles d'octobre à décembre.

Si l'on suppose que chaque point de ces graphiques représente le 15 de chaque mois, on voit, en construisant avec soin celui des débits, que le premier maximum a lieu vers le 20 janvier. Il résulte des pluies de décembre, dont le maximum a lieu certainement plusieurs jours après le 15, soit donc environ un retard d'un mois entre celui de la pluie et celui de Tunis, dont il faut retrancher le temps d'arrivée à Tunis du maximum des sources, ou d'une crue quelconque. N'ayant pas procédé à cette détermination qui pourrait peut-être se faire par l'étude des feuilles hebdomadaires, je me contente de signaler cette correction sans la faire. Le deuxième maximum de débit, très méplat (entraînement des pluies de saturation), a lieu vers le 1^{er} mai; celui de la pluie a lieu vers le 15 mars, d'où un retard à Tunis d'au moins un mois et demi. Si l'on admet que le temps d'arrivée est le même qu'en décembre-janvier, on voit qu'une durée supplémentaire de quinze jours est nécessaire pour l'établissement de ces maximums. Ce délai semble provenir de la masse d'eau supérieure mise en mouvement dans les réservoirs des sources accrues encore par l'entraînement des dernières eaux de saturation.

Les résultats précédents ne s'appliquent d'ailleurs pas au massif du Bargou, dont on sait que les maximums n'ont pas lieu tout à fait aux mêmes époques, ce qui a d'ailleurs déjà contribué à rendre certaines pénuries plus supportables.

IV — Aperçu sur la « Dorsale tunisienne »

La chaîne de montagnes que j'appelle ainsi est la « Dorsale » tunisienne *sensu stricto* de Baltzer et de Ficheur et Haug, étendue jusqu'au Bargou en raison de l'importance hydrologique de ce massif, et non la Dorsale des géographes prolongée par eux jusqu'en Algérie, jusqu'au nœud de montagnes de l'Aurès.

Elle fait partie de la deuxième « région hydrologique » que j'avais considérée dans le pays, région de plaines synclinales étendues interférant avec des dômes montagneux souvent plus étroits, mais de même valeur qu'elles.

Pour les généralités, je renverrai à un de mes travaux anté-

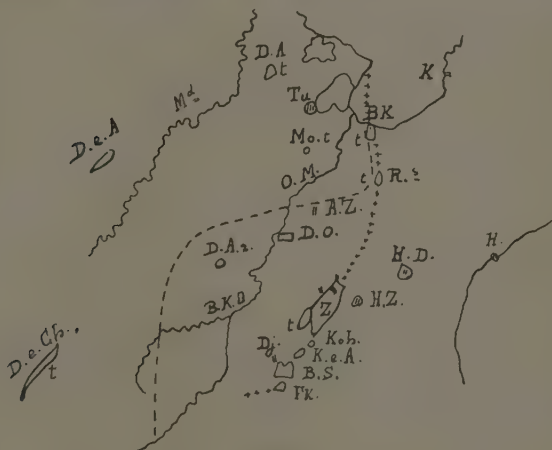


Fig. 9.

rieurs déjà cité, et pour des détails stratigraphiques et tectoniques à ceux de : Le Mesle (Bou-Kournine), Rolland (Zaghouan), Aubert (données générales *passim* dans sa notice), Baltzer (Zaghouan), Ficheur et Haug (Zaghouan), Joleaud (Bou-Kournine, Grombalia), Pervinquièrre (Zaghouan et chaîne du Zaghouan, dômes jurassiques du Fahs, Ben-Saïdan, Fkirine, Oued-el-Kebir, Bargou), Termier (aperçus tectoniques, charriage ? 1906, Bou-Kournine, Reçass). Les massifs dont je m'occuperai à des titres divers, sont ceux qui forment la chaîne elle-même, les vertèbres

dissociées de la « Dorsale » : 1° Bou-Kournine et prolongement ? nord ; 2° dôme triasique du sud et Reçass ; 3° massif crétacé d'Oudna avec le djebel Oust ; 4° Zaghoun avec, à l'ouest, massifs du Fahs, à l'est, compartiments plus tabulaires avec eaux thermales ; 5° chaîne du Zaghoun chapelet de petits dômes faillés ? au sud-est ; 6° Djoukkar et Fkirine ; 7° deux dômes crétacés comprenant entre eux la cuvette de l'oued Miliane supérieur (oued el-Kébir) ; 8° Bargou.

L'étude générale de cette chaîne est d'ailleurs intimement liée à celle du *jurassique tunisien*, encore assez peu avancée par suite de la rareté ou de la mauvaise conservation des fossiles et de la dissociation des couches. Cette étude est aussi liée à celle du trias auquel ces terrains passent par des accidents tectoniques encore sujets à discussions (failles, surfaces de charriages ?). C'est au point de vue de « la nappe captive du jurassique » que cette étude offre de l'importance, à cause de l'existence possible de piliers triasiques secs, ou de couloirs gypseux et salés élevant beaucoup le taux de minéralisation des eaux. L'étude des grandes sources de la Dorsale, à l'exception toutefois de celles du Bargou (aptien), pourrait en somme s'appeler : celle des portions libres ou captives de la nappe du jurassique tunisien.

Les *roches perméables* offertes par ce terrain sont en somme partout les mêmes : ce sont, ou des calcaires en plaquettes, ou des calcaires marbroïdes à couleur variant du rose au noir, souvent caverneux et mal stratifiés. Les premiers recouvrent souvent les seconds (portlandien même berriasien, parfois oxfordien (Zaghoun), le plus souvent ils existent en lambeaux pincés dans les calcaires marbroïdes. — Ces derniers sont aussi de plusieurs âges : lias (marbres bleus à bélemnites du djebel Oust, à térébratules (Zaghoun), à ægocératidés (Reçass) [1]), portlandien à ammonites du Bou-Kournine et du Zaghoun (Pervinquière). Dans tous les cas, toutes ces couches sont presque toujours en continuité hydrologique et jouent par suite le même rôle, et d'ailleurs ne peuvent guère se séparer. Les variations d'imprégnation et de conductibilité entre les deux sortes de roches sont de l'ordre des variations locales dans les marbres seuls.

L'*infra-crétacé* qui presque toujours forme ceinture de colma-

(1) Communication inédite de M. Nickles.

tage et contribue souvent par son imperméabilité à maintenir élevés les seuils des sources, présente dans les schistes du néocœmien ou de l'aptien inférieur de nombreux filons ou même des lits calcaires qui peuvent parfois conduire les eaux. (Exemple : la source du Djoukkar). — On sait en outre que c'est de l'aptien supérieur que sortent les sources du Bargou (Bou-Saadia, Faouar.).

Les détails géologiques ne pouvant tenir place dans ce travail, j'en fournirai quelques-uns, s'il y a lieu, à propos des différentes sources.

L'extrémité nord de la Dorsale paraît être formée par la montagne du Bou-Kournine de Hammam-Lif. Cependant, sur le prolongement même de l'alignement, on constate la retombée ouest d'un dôme, affectant de plongements de 0,1 à 0,2 les couches miocènes de Carthage et de Sidi-Bou-Saïd. Ce dôme assez méplat, dans des terrains aussi récents, est surtout visible de la mer : il fait pendant au demi-dôme éocène érodé du djebel Kourbés s'élevant de l'autre côté, à l'est du golfe de Tunis (1). Existe-t-il une jonction sous-marine par rebroussement ou relais avec l'anticlinal crétacé du Ras Tarf lui aussi érodé à l'extrémité, de même qu'une relation de ce genre entre le dôme de Korbous et la petite portion de dôme formant les îles Djamour : Zembra et Zembretta? Dans l'état actuel de nos connaissances, il est fort difficile de répondre à cette question en l'absence de tout forage sous-marin. Cette question de la coordination des dômes se pose cependant pour savoir si, par exemple, entre la Sicile, qui fait partie de la chaîne alpine et où le jurassique existe, et la Tunisie, n'existeraient pas dans cette zone de hauts-fonds marins des dômes où des érosions antérieures à l'immersion mettraient les calcaires jurassiques, dont le facies se conserve en Italie, en relation directe ou indirecte avec les eaux de la mer. On sait qu'en pareil cas, surtout quand un terrain perméable forme des dômes élevés, il s'établit un état de régime entre l'eau de la nappe captive et l'eau de la mer, avec un niveau piézométrique voisin de celui de la mer, avec même perte de la nappe et dessalure consécutive. La présence de tels accidents sous-marins contribue donc plutôt à abaisser le niveau piézométrique d'une nappe, quand celui-ci est élevé comme celui de ce terrain.

(1) Feuilles de la carte au 1/50000^e de Porto-Farina, La Marsa, La Goulette.

Il semble dans tous les cas que telle doit être une des raisons du peu de hauteur de débit des deux sources thermales de Hammam-Lif et de l'absence de sources froides dans les calcaires du Bou-Kournine, dont la ceinture de colmatage infracrétacée descend si bas.

Une particularité en apparence étrange offerte par le Bou-Kournine, est l'absence de toute source froide pérenne à la ceinture néocomienne, et la présence dans l'intérieur de la montagne des deux sources thermales de Hammam-el-Lif.

Le massif du *Bou-Kournine* est un anticlinal du lias-portlandien, parfois même isoclinal et même, par endroits, légèrement renversé vers l'est. Les calcaires rouges souvent barrés de marnes schisteuses vertes, qui forment les parties les plus basses, directement au sud du village d'Hammam-el-Lif, ne sont guère favorables ni aux infiltrations, ni à la sortie des eaux. De plus, tous les pendages périclinaux sont supérieurs aux pentes du terrain : donc, aucun affleurement de niveau d'eau pouvant produire des sources de versants. La raideur des pentes, même de celles des thalwegs toujours courts des calcaires, favorise la perte par ruissellement. En outre, l'existence d'un bois de thuyas assez dense (forêt d'Hammam-el-Lif) augmente la reprise par l'atmosphère et, par la production d'humus notamment vers les crêtes, s'oppose en bien des points aux infiltrations. Le coefficient d'infiltration totale annuelle ne doit donc pas être élevé, certainement moindre que sur le Zaghouan. La réaction de la nappe captive du jurassique diminuée par la mer et les sources thermales, ne doit donc pas être suffisante pour faire émerger des sources froides (Voir p. 254) les relations probables dans un dôme comme le Bou-Kournine entre la nappe libre d'infiltration des eaux froides et la nappe captive et thermale.

Quant aux deux sources thermales (Hammam=bain en Arabe), la monographie donnée en 1900 par le service des Mines de la Régence les considère comme « chlorurées sodiques fortes ». Leur température comprise entre 48° et 50° correspond, en négligeant le refroidissement, à une profondeur de près de 1.200 mètres, probablement moins, à cause de la présence de filons de calamine et blende en profondeur, meilleurs conducteurs que la moyenne des roches. La circulation doit en outre être rapide pour permettre la conservation de températures aussi élevées : elles ne

circulent donc que dans des couloirs locaux béants, constituant des lieux de conductibilité hydraulique maximum et presque infinie de la roche. La profondeur de siphonnement correspond alors à peu près à celle du jurassique sous le col tectonique du Khranquet el Hadjadj entre le Bou-Kournine et le Reçass. D'autre part, leur pression, capable de donner à la hauteur des griffons un débit de 300 à 400 mètres cubes par jour correspond à un niveau piézométrique assez élevé au-dessus. L'opération du dégagement pour captage en 1883, qui a triplé le débit d'Aïn el-Ariane atteste les obstacles opposés à la circulation des eaux notamment dans les couches complexes du portlandien. Il en résulte que la pression due aux infiltrations locales n'est pas suffisante pour produire à elle seule le débit de ces sources, et qu'elles doivent provenir par des couloirs limités et locaux, de la nappe captive du jurassique mise en pression par les « pertes en profondeur » des sources du Reçass et, moins directement, du Zaghouan et du Ben-Saïdan. Leur température et leur minéralisation excluent le mélange d'eaux froides infiltrées *in situ* : fait qui n'a rien d'étonnant, puisqu'on sait que ces deux eaux ne se mélangent pas, que l'eau thermale repousse latéralement les eaux froides et qu'il n'existe entre elles que des relations hydrostatiques (Applications : méthode de François renouvelée en partie des Romains pour l'élévation et l'adduction des eaux thermales).

On voit en outre par là dès maintenant le caractère lacunaire et quasi local de la circulation des eaux dans la « nappe captive des calcaires jurassiques » (Voir p. 251).

Je n'ai pas suivi avec précision les contours des calcaires jurassiques du Bou-Kournine, comme ceux du Zaghouan et du Djoukkar : ils ne sont d'ailleurs pas apparents sur le terrain et sur les cartes par la quasi-cessation de la brousse. Je crois cependant n'être pas loin de la vérité en leur assignant une surface en plan de 3 kilomètres carrés (12 centimètres carrés sur la carte au 1/50000). Les eaux tombées sur ce périmètre ont deux destinations : 1° elles alimentent la nappe captive et mettent en pression les deux sources thermales ; 2° elles donnent naissance à des nappes phréatiques d'éboulis de part et d'autre de la montagne, dont celle de l'Ouest est utilisée pour l'alimentation de Hammamel-Lif.

Le contingent annuel fourni à cette nappe est donc faible, et

probablement hors d'état de produire son influence dans les régions du Zaghouan et du Djoukkar.

Le *djebel Reçass* (mine de zinc) constitue le deuxième dôme jurassique, sur le prolongement et au sud du Bou-Kournine. Il présente une masse de calcaires liasiques renversée légèrement en général vers l'est et comprise entre des affleurements imperméables, néocomiens et triasiques (Maison minière) formant ceinture de colmatage. La source assez importante qui alimente la Laverie en provient.

Ici se pose au point de vue de la nappe captive la question de l'enracinement du Reçass. Il est d'ailleurs certain que le contingent offert à cette nappe par les calcaires abrupts et épuisés en partie par cette source du Reçass ne doit pas être non plus considérable. Le niveau piézométrique fourni par les pertes de la nappe libre doit cependant être supérieur de plusieurs dizaines de mètres à celui du Bou-Kournine.

V — Ain Ziga, djebel Oust

Le *compartiment crétacé* situé au sud-ouest du Reçass et à l'est et nord-est du dôme jurassique du *djebel Oust* renferme la source d'aïn Ziga que nous avons étudiée.

Cette source sort sur le flanc ouest d'une vallée constituant elle-même une grande fosse locale du massif crétacé. La stratigraphie locale des terrains voisins n'a pas été jusqu'ici établie avec précision ; cependant leur nature : calcaires blancs peu épais, crayeux alternant avec des marnes grises, ainsi que leur position en dessous et en contact avec l'éocène à quelques kilomètres de là, dans la vallée de l'oued Miliane, indique le sénonien. Cette dernière vallée n'est d'ailleurs pas un synclinal en cet endroit comme elle l'est aux environs de son embouchure, car elle présente de nombreux plis secondaires arasés et masqués sous des terrains plus récents, qui n'apparaissent que par des pendages de l'éocène ou du sénonien dans les oueds ou les fossés des routes. Les montagnes entre cette vallée et la source forment un dôme avec ridements secondaires : cols topographiques souvent superposés à des cols tectoniques, comme par exemple celui de la piste de la source.

C'est ainsi qu'au nord de la source passe l'anticlinal du Kef-

Etachina, ridement des calcaires sénoniens traversant la vallée. Aïn Ziga appelée « aïn Seguel » par la carte au 1/50000 (1) sort sur le bord ouest de la vallée d'un petit ravin creusant le versant, et dont le bord sud montre des calcaires blancs c_1 affectés d'un pendage de 0,2 à 0,3 vers l'est. Un autre ravin à 50 mètres plus au sud montre les mêmes calcaires avec pendage sud-ouest de 0,3 environ. Ces calcaires c_1 sont surmontés de marnes, m_2 formant le fond à l'entrée de la gorge au sud de la source. Au-dessus viennent ensuite des calcaires c_2 analogues à c_1 , formant les sommets en bordure. Une cuvette locale à fond marneux se creuse donc au sud de la source. C'est ainsi que le bord ouest de cette gorge : djebel Bou-Hadjeba offre m_2 et c_2 avec des pendages sud de 0,3; le bord E, bien qu'un peu plus compliqué, offre encore la même disposition (fig. 10).

Comme le montre la coupe de la figure 10, aïn Ziga sort en remontant des calcaires C_1 formant au nord l'anticlinal trans-

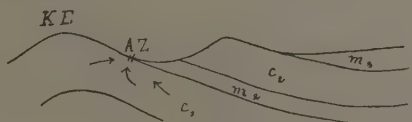


Fig. 10.

versal du Kef-Etachina et s'enfonçant au sud sous la cuvette formée par les marnes m_2 , les calcaires c_1 et les marnes m_4 . Les affleurements de ces trois dernières couches forment une boutonnière au sud de la source.

Aïn Ziga remonte d'une fracture siphonnante des calcaires c_1 . En effet, d'abord sa composition chimique indique une eau plus minéralisée que la moyenne du sénonien : d'après une analyse des Mines :

Insoluble 0,685 gr. /lit.; S O, 0,125; Cl 0,148 Ca O 0,148; Mg O traces. Degré hydrotimétrique 46.

Le rapport $\frac{\text{hydrot.}}{\text{Cl}} = 310, 8$, soit 311, la fait bien rentrer dans les eaux du sénonien, avec peut-être un peu trop de chaux, indiquant une source de cet étage ayant circulé dans un couloir calcaire.

(1) Feuille d'Oudna.

La *température*, en outre, relevée à différentes reprises et par plusieurs observateurs, a toujours été trouvée égale à 24° C. Cette valeur est supérieure à la moyenne du lieu. On a donc ici affaire à une source thermique sédimentaire ou à une source semi-thermale, dont le degré de thermalité est $24 - 18 = 6^\circ$ C. Sa constance exclut en outre tout mélange d'eaux de surface, en particulier d'eaux rapprochées des calcaires c_1 . La profondeur de siphonnement serait voisine de 180 mètres, c'est-à-dire à peu près celle des calcaires c_1 sous la cuvette.

Les *mesures de débits* que j'ai pu utiliser ne remontent pas avant décembre 1908. Elles offrent quelque valeur jusqu'à la fin de mars 1909, date à partir de laquelle ont eu lieu d'importants déversements non contrôlables. C'est ainsi que le maximum de 1.400 mètres cubes qui aurait été mesuré directement n'a pas été porté sur les feuilles hebdomadaires : on sait toutefois qu'il a eu lieu avant le mois de mai.

Le *coefficient de tarissement* ne peut non plus se calculer avec grande précision, faute de posséder un arc assez long du graphique d'épuisement. J'en ai obtenu une mesure approchée en menant la tangente au point méplat du graphique correspondant à $Q = 695$ mètres cubes. Il semble d'ailleurs vraisemblable de supposer ce graphique rectiligne, en tenant compte du fait suivant : la diminution de débit a pour cause la descente des eaux des bords de la cuvette pour remplacer celles écoulées par la source. Il est vraisemblable que les dénivellations avec changement de largeur de la surface libre dans ce mouvement seront à peu près constantes ; d'où une surface libre presque assimilable à un plan, par suite, d'après l'équation générale de M. Boussinesq, une variation linéaire du débit. Dans ce cas on aurait :

pour	$\Delta t = 50$ (jours)	$\Delta Q = -85$ (m^3 /jour)
d'où	$dq = 1,7 \, dt$	$q = q_0 - 1,7 \, t.$

De fait, l'arc de graphique construit est fort peu courbé.

Si pour comparer cette source à d'autres (Zaghouan par exemple) on faisait passer une exponentielle par les deux points précédents, on aurait :

	$50 \alpha = \log 336 - \log 251$
d'où	$\alpha = 0,00253.$

Ce coefficient de tarissement est donc supérieur, mais en somme comparable à celui de la Nymphée de Zaghouan (toutes les valeurs obtenues comprises entre 0,0016 et 0,0024).

On connaît avec plus de précision la montée du débit en janvier 1909.

Pour	$t = 332$	(ord. de 1907, graph. gén.)	$Q = 298$
—	$t = 353$	—	$Q = 457$
—	$\Delta t = 21$	—	$\Delta Q = 159$

Débit moyen : 377,5. Inclinaison du graphique :

$$tg \varphi = \frac{159}{21} = 7,57$$

Inclinaison rapportée au débit moyen : $\frac{tg \varphi}{Q_m} = 0,02005$.

Pour la Nymphée de Zaghouan, on avait pour la même quantité dans le même temps : 0,0287, soit une valeur un peu plus forte, mais du même ordre. Cette donnée est donc assez faible pour une petite source de calcaires minces. Cela tient à ce fait que toute variation de pression par infiltration a au moins plusieurs centaines de mètres à parcourir avant d'arriver au griffon : elle ne produit donc son effet que progressivement.

Les pluies d'automne semblent aussi d'après ce graphique influencer rapidement le débit. Cela résulte de la perméabilité directe de la surface en bien des points où les touffes de pins d'Alep avec humus ne la diminuent pas, et surtout du peu de volume de la partie vide du réservoir au-dessus de la surface libre, du peu d'épaisseur de la couche aquifère de calcaire sénonien c_1 et de la protection offerte par la boutonnière marneuse aux eaux une fois infiltrées à quelque profondeur. La « saturation ne nécessite donc qu'un petit nombre de mètres cubes ».

Infiltration totale approchée pour 1908-1909. — Admettons le maximum de 1.400 mètres cubes accusé par la Compagnie des Eaux en avril (jour ?) 1909. Les données insuffisantes ne permettent pas la construction d'un graphique complet d'épuisement ; on ne peut donc en avoir que l'ordre de grandeur. Supposons, pour simplifier, le diagramme rectiligne en dessous de 400 mètres cubes (cf. le Djoukhar). On a alors les résultats suivants :

Temps où le graphique d'épuisement 1908 coupe la droite

$Q = 300 : t = 270 \dots d_0$ pour celui de 1909 $t = 651$. On a donc :

Aire (équivalente à l'aire asymptote).	$381 \times 300 = 114.300$
Aire complémentaire (planimétrée).	96.590
Total.	210.890

Mettons en chiffres ronds 211.000 mètres cubes en 1908-1909.

Si donc on supposait une hauteur moyenne d'infiltration totale sur le bassin-versant de $i = 0,2$, par exemple, la surface de ce bassin serait :

$$S = \frac{211.000}{i} \text{ m}^2 \text{ ou pour } i = 0,2, 1,05 \text{ km}^2.$$

Les contours de ce périmètre seraient assez difficiles à tracer en raison de la complexité des couches et de leur forme compliquée dans ce pays accidenté. Il ne pourrait s'apprécier que sur une carte géologique très exacte et très détaillée, séparant les calcaires c_1 des marnes m_2 , ce qui ne se ferait peut-être pas lors de l'exécution d'une carte géologique officielle, attendu que ces couches font toutes deux partie du sénonien. Mes relevés personnels, lors de mes visites, concernent plutôt la boutonnière du sud-est que les contours, surtout au nord des calcaires c_1 . Cependant l'étendue apparente de leurs affleurements dans le Kef-Etachina et au sud-est de Bou-er-Rebia rendent cette aire de 1,05 kilomètres carrés assez vraisemblable.

Le *djebel Oust*, situé au sud-ouest, constitue le troisième dôme jurassique. Il ne fait pas partie de la Dorsale proprement dite, mais la flanque à quelques kilomètres de l'ouest. Ce dôme est relativement très large et presque circulaire : il fait sentir son influence jusque dans l'éocène de l'oued Miliane. Ce dernier le franchit dans une « cluse » infracrétacée, entamant son flanc ouest. Le *djebel Oust* ne présente comme sources superficielles que quelques petites venues à peine pérennes des bandes étroites des calcaires crétacés très redressés de la périphérie : quant au « noyau » jurassique, il n'en n'offre aucune. Le cas est analogue à celui du Bou-Kournine, avec cette aggravation que la ceinture formant colmatage est relativement plus entamée par les érosions.

Ce qui augmente l'analogie, c'est l'existence d'une « source thermique ». En effet, une recherche minière a trouvé dans une

descenderie de prospection une élévation anormale de température, à une profondeur que nous savons seulement être inférieure à 40 mètres (1), soit à peut-être une dizaine de mètres au-dessous du pied de la montagne. On a en outre constaté l'existence, au voisinage, d'anciens thermes romains. On serait donc en présence d'une source thermale aujourd'hui perdue. Cette source sans débit s'élève alors à une hauteur égale au niveau piézométrique du jurassique augmenté de la réaction due aux infiltrations sur les affleurements.

La partie centrale du « noyau » est formée de marbres liasiques bleuâtres à mauvaises belemnites exploités déjà par les Romains, exploitation reprise aujourd'hui au point 210, apophyse nord-est du massif principal, voisine de la route de Zaghouan. Au-dessus, le portlandien et peut-être l'oxfordien offrent des calcaires durs, blancs, ou des calcaires en plaquettes avec schistes gris ou bruns aussi dépourvus de sources. Ce noyau a une forme allongée de l'est à l'ouest, contrairement aux autres dômes jurassiques. La surface en plan des affleurements est environ de 5.125 kilomètres carrés.

Le coefficient d'infiltration sur ces calcaires dénudés et presque partout sans humus, mais assez peu entamés et où les thalwegs sont peu profonds, est notable; plus grand que pour aïn Ziga, mais moindre que pour le Zaghouan, il doit se rapprocher assez de celui du Ben-Saïdan.

Par suite de cette circonstance et de l'absence de sources froides du jurassique, le djebel Oust, sans être un des points principaux, est cependant un lieu important d'alimentation de la nappe captive jurassique, certainement supérieur au Bou-Kournine et surtout au Reçass (Voir p. 205).

Le bord sud du compartiment crétacé d'aïn Ziga, qui limite au nord la plaine de Zaghouan-Moghrane, Bou-Ficha (Bahira Zaghouane), offre déjà des pendages nord de ces calcaires, sur presque tout le front : il subit donc l'influence du grand dôme complexe du Zaghouan. Le « col tectonique », ou plutôt le « thalweg tectonique » principal, passe donc au nord du large col topographique de la route de Moghrane à Bou-Ficha. C'est cette disposition qui rend cette région si pauvre en eau. C'est

(1) Communication inédite de M. Berthon, ingénieur des Mines de la Régence.

ainsi que la source Aïn-el-Djour (ancien captage romain) est à peine pérenne, et l'henchir (domaine) Djimla ne peut guère être alimenté que par des eaux de puits.

VI — Le Zaghouan

J'ai déjà parlé de cette montagne à plusieurs reprises. La stratigraphie des calcaires jurassiques, avec quelques lambeaux locaux de schistes, devrait être précisée. En outre, la « faille du Zaghouan » présente, là où c'est observable (quelques hectomètres au nord du col du Djebel-el-Ahmeur), un éocène supérieur renversé un peu au delà de la verticale, et appliqué contre les bancs du jurassique. L'extrémité sud-ouest, à Sidi-Médine, offre un pointement de trias au sud duquel on voit le passage de cette « faille » dans un ravin, où s'observe un pli en S très contourné des calcaires minces de l'aptien inférieur buttant contre les marnes éocènes.

Sans autres détails, il semble que le Zaghouan est bien enraciné au nord-ouest, sauf la présence de piliers de trias dans la nappe jurassique en profondeur. Sur le flanc sud-est, quelle que soit la nature de la « faille », il y a continuité hydrologique, soit par une vraie nappe aquifère, soit par des couloirs, entre les calcaires de la montagne et les massifs marmoréens de Hammam-Zriba et Hammam Djididi (1).

Il doit ainsi exister des relations en profondeur entre les eaux du Zaghouan et celles du Ben-Saïdan et du Fkirine.

L'étude hydrologique du Zaghouan offre donc un double intérêt ; d'abord en elle-même (alimentation de Tunis), puis au point de vue de l'étude générale de la nappe du jurassique.

1° *La « nappe libre » du Zaghouan.* — Comme partout, les sources en bordure de cette montagne sont les « témoins » de cette nappe libre.

Les *positions* de ces sources ne sont pas dues au hasard de la fissuration des calcaires, comme on pourrait le croire *a priori*, mais se trouvent toujours sur un abaissement local de la ligne de contact jurassique-néocomien ou jurassique-éocène. Pour les deux grandes sources du nord-ouest, aïn Ayed et la Nymphée, leur

(1) Feuilles de Zaghouan et de Bou-Ficha de la carte au 1/50000°.

importance résulte d'abord d'un abaissement général de ce contour vers le nord, et la position de leurs griffons d'un abaissement local dû au passage d'un *anticlinal transversal* secondaire. Contrairement à ce qui se passe ordinairement, par exemple, pour les « sources de niveaux d'eau », les griffons de ces sources sont non dans des gouttières synclinales, mais sur des clefs de voûte d'anticlinaux, comme souvent ceux des sources thermales. Ce fait est particulièrement observable dans le « couloir de la Nymphée », dont le thalweg est très voisin de cette clef de voûte. Les autres sources de ce versant ouest sont : aïn Oued-el-Guelb, encore en un point bas à l'entrée de l'oued Temmane, petite source tarie d'ailleurs depuis son captage, et aïn Sidi-Médine. Cette dernière, tout à l'extrémité sud-ouest du massif, sort de l'éperon qui domine la Dechera du même nom, sur la descente locale du contour du néocomien, en un point qu'on peut aussi considérer comme sur un anticlinal.

Les sources du sud-est ou « sources de la Faille » n'ont ni le débit, ni surtout la constance des deux premières. Ce sont, en commençant par le nord-est :

Aïn Zguer (Zeguir de la carte au 1/50000^e), sortant de la

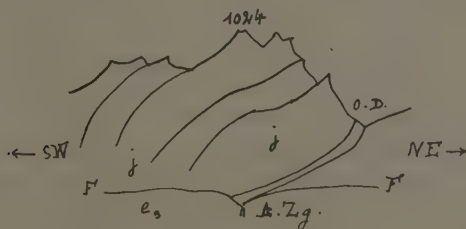


Fig. 11.

« Faille » au point de rencontre des marnes de l'éocène moyen, avec une couche calcaire à plongement de 0,8 sud-ouest (fig. 11), et rencontrant la ligne de faite générale au col au nord-est du point 1024, prolongement de la grande vallée sèche du flanc nord-ouest, l'oued Dalia. Il semble y avoir là cassure avec décrochement local. Cette source semble constituer un trop-plein pour l'alimentation rapprochée d'ain Ayed et de la Nymphée. Débit voisin de 1 à 2 litres par seconde en mai 1907 ; 0,23, fin décem-

bre, même année; en décembre 1908, très faible; en décembre 1909, 0,38 l/s.

Source sans nom, directement sous le Grand Pic, faible aux hautes eaux, tarie en décembre.

Aïn en-Nilla : sur la retombée sud-ouest du Grand Pic, sort au sud-ouest du thalweg du ravin (décrochement?), séparant la base du Grand Pic du Kef-Damous, pendage des bancs au

voisinage de $\frac{1}{1}$ sud-ouest, reçoit probablement quelques eaux du

Grand Pic, croît rapidement et se trouble par les pluies. Débit en mai 1907, peut-être 2 litres par seconde? *tarie en décembre*, même année; en décembre 1909, 0,028 l/s. Donc, caractère de trop-plein encore plus marqué que pour la précédente.

Aïn Ouka sort en bas et au sud du Kef-Damous-el-Assi, bloc de marbre détaché au sud du Grand Pic; canal en terre, sert à l'irrigation, par suite origine géologique masquée. C'est cependant encore une source de la « Faille ». Débit en mai 1907, plusieurs litres; peut-être 5 par seconde; en décembre, 0,4 litre par seconde; décembre 1909, 0,535. Donc pérenne malgré son inconstance.

La continuité hydrologique de tous ces calcaires, ainsi que la forme des graphiques de débits des grandes sources qui indique des terrains simplement perméables (en grand il est vrai), montre que tout se passe comme si toutes ces sources puisaient dans un réservoir commun. Il semble donc que les lignes de faite de la surface libre ne soient pas fixes: leurs positions aux hautes eaux dépendent d'abord de la répartition des infiltrations de la surface du sol; puis, en périodes d'épuisement, elles doivent reculer des grandes sources basses du nord vers les petites sources hautes de la Faille, au point de réduire à 0 les bassins-versants de celles qui tarissent.

On ne saurait donc donner à aucune un bassin-versant « géologique » indépendant. Cependant, il est certain que ces bassins-versants doivent être toujours voisins des bassins de réception des principaux ravins qui entament la montagne, dans lesquels le ruissellement, au moins à l'arrivée sur les marnes de la ceinture, est très faible, sinon nul.

D'autre part, lorsque les sources d'un même côté sont toutes faibles, le « versant souterrain » correspondant du massif per-

méable est très étroit ; par suite, si les pentes de la surface libre (fonctions du rapport $\frac{K}{\mu}$ de l'équation de M. Boussinesq) varient peu avec les conditions locales, ou au moins se tiennent en dessous d'un minimum assez peu élevé (série exponentielle rapide pour les formules de prévision de débit), la ligne de partage souterraine est *très voisine* en plan et en altitude de la *ligne des petites sources*.

Si donc pour le Zaghouan, on fait passer par les griffons des sources une surface régulière, voisine autant que possible d'un plan, cette surface suivra de près la surface libre elle-même, en sera une *limite inférieure*, et figurera dans son allure générale à peu près celle de cette dernière. L'exploration des « grottes du Poste optique », ou l'exécution de sondages de recherches assez profonds dans les calcaires du massif permettraient d'en préciser certains points intérieurs. En l'absence de ces données, nous en sommes réduits aux indications suivantes :

Limites inférieures des pentes moyennes de la surface libre :

De aïn Ayed à la Nymphée. — Dénivellation approchée : 10 mètres. — Distance comptée suivant la ligne de pente moyenne : 500 mètres. — Pente : $tg\varphi = 0,02$ ou 2 ‰.

De la Nymphée à aïn Zguer. — Dénivellation : $\Delta h = 520 - 290 = 230$ mètres. — Distance $d = 3.000$ mètres, $tg\varphi = 0,076$ ou 7,6 ‰.

De aïn Zguer à aïn en-Nilla (direction de la pente moyenne ? — J'ai pris la droite qui joint les griffons, assez voisine de nord-sud) $\Delta h = 560 - 520 = 40$ mètres, $d = 2.000$ mètres, $tg\varphi = 0,02$ ou 2 ‰.

De aïn en-Nilla à aïn Ouka (direction des lignes de pente moyenne locales encore moins certaine) $\Delta h : 590 - 560 = 30$ mètres, $d = 1.000$ mètres, $tg\varphi = 0,03$ ou 3 ‰.

De aïn Ouka à aïn Sidi-Médine : inversion de la pente, dirigée cette fois au sud-ouest $\Delta h = 590 - 500 = 90$ mètres, $d = 1.000$ mètres, $tg\varphi = 0,09$ ou 9 ‰.

Pour les environs mêmes de la Nymphée (cote 290 environ), j'ai été ainsi amené à assimiler la surface libre et son prolongement à un plan ayant une pente moyenne de direction sud-nord telle que : $tg\varphi = 0,08$, limite probablement aussi inférieure de la surface piézométrique de la nappe captive au point de raccor-

« faille du télégraphe » sépare le Poste Optique du petit massif d'Aïn-Haroun, apophyse nord-est du grand massif; 2° sur le flanc ouest, la bande longitudinale du Fedj-Sach sépare le massif du Grand Pic de l'« Esplanade triangulaire (Pervinquière) du djebel Staa, qui se renverse par endroits au delà de la verticale sur les schistes barrémiens qui forment le pied ouest de cette montagne, là où Rolland avait supposé une faille. Ces deux bandes partagent donc les affleurements perméables en trois massifs inégaux ayant entre eux des communications plus ou moins directes, au moins en profondeur, mais différents au point de vue des « infiltrations instantanées ». Ce sont : au nord-est, le massif d'Aïn-Haroun (I); au centre et au sud et sud-est, le massif central ou principal (II) comprenant le Poste Optique et le Grand Pic; enfin, à l'ouest, le djebel Staa et annexes III.

Les convergences géologiques et topographiques m'ont d'ailleurs permis de partager par des lignes de faite ces massifs en plusieurs bassins de réception ou compartiments perméables ayant respectivement les superficies suivantes (d'après la carte au 1/50000° que j'ai dressée du massif).

		KILOMÈTRES CARRÉS
I	1. Massif d'Aïn-Haroun	0,5132
	2. Bande calcaire prise dans la « Faille du Télégraphe »	0,0800
	3. Couloir du Télégraphe au nord du Poste Optique	0,7975
II ₁	4. Couloir de la Nymphée (étendu)	0,6537
	5. Oued Dalia et dépendances	3,6662
	6. Massif du Grand Pic et oued Temmane	5,8650
II ₂	7. Versant sud-est au-dessus de la « Grande Faille »	2,4075
	8. Pointements calcaires dans le Fedj-Sach	0,2175
III	9. Kef-el-Blidah	0,7150
	10. Djebel Staa	3,4087
Total général de la surface perméable.		18,3243

Les stations pluviométriques les plus voisines sont : 1° Bou-Remada, à 3 kilomètres en avant et au centre du flanc nord-ouest (pluie et température); 2° Zaghouan, ville à 1 kilomètre au nord de l'extrémité nord-est; 3° Moghrane, à 4 kilomètres dans

la plaine au nord; 4° le Poste Optique, construit sur un des principaux sommets (980 mètres), directement au-dessus de la Nymphée, malheureusement évacué l'été. J'avoue qu'il serait très intéressant, sinon nécessaire, d'avoir d'autres stations sur les affleurements calcaires, par exemple à la mine, vers l'extrémité sud-ouest du massif; mais, dans l'état actuel, les moyennes d'observations ont suffi pour me donner des résultats concordants, d'autant plus que les pluies d'hiver ont une répartition assez uniforme.

Le détail des infiltrations apparentes au moins pour la Nymphée a fait l'objet de ma part d'une note à l'Institut: j'y reviens plus loin. Ici je ne considère que les « infiltrations totales moyennes ».

Si l'on admet comme hauteur totale de pluie sur le bassin-versant de la Nymphée, de décembre 1908 au milieu d'avril 1909, 278 millimètres, il en résulte une infiltration de 1.907.300 mètres cubes. Si donc on appelle S_N la surface de ce bassin-versant et i le coefficient d'infiltration,

$$0,278 \ i \ S \ (\text{m}^2) = 1.907.300 \ \text{m}^3.$$

Si toute cette pluie subissait l'infiltration totale: $i = 1$, on aurait $S_N = 7,08$ kilomètres carrés. Or, on peut admettre comme valeur approximative du débit moyen d'aïn Ayed le nombre de 2.300 mètres cubes (Voir p. 181). Si de plus on admet, ce qui est fort vraisemblable pour des sources de cette puissance et très voisines, que les aires des bassins-versants sont proportionnelles aux débits moyens: celui d'aïn Ayed sera voisin de 2,3 km². Le bassin-versant total des deux sources, $S_N + S_A$ serait donc de $7,1 + 2,3 = 9,4$ km².

Le même calcul appliqué à l'hiver 1907-1908 donne pour S_N : 7,59 km² et pour S'_A : 2,4 d'où un total de 10 kilomètres carrés.

Or, cette surface représente presque la totalité des compartiments 3, 4, 5 et 6, soit celle de tout le versant nord-ouest des calcaires du « Massif Central » laquelle est de 10,98 km², mettons 11.

Si, par contre, on admettait *a priori* que les deux sources drainent la totalité des eaux tombées sur ce versant, on arriverait pour les coefficients d'infiltration totale de décembre à avril aux valeurs suivantes:

$$1907-08. \quad i = 0,912 \text{ ou } 91 \text{ } \%, \quad 1908-09. \quad i = 0,859 \text{ ou } 86 \text{ } \%$$

Ces nombres relatifs à des pluies d'hiver ou à de copieuses sources de printemps paraissent très vraisemblables, d'autant plus qu'ils sont affectés de la correction positive relative à l'entraînement des pluies de saturation.

Si l'on admettait même, ce qui n'a pas lieu d'ailleurs à cause des sources de la Grande Faille, que la totalité des eaux du versant sud-est (n° 7) soit entraînée par ces deux sources, on aurait encore pour le coefficient d'infiltration la limite très inférieure de 0,75.

Ces grandes valeurs de i prouvent en outre la pauvreté, sinon l'absence, de l'alimentation de la nappe captive au moins par la partie centrale du Zaghouan. C'est le djebel Staa sans source et peut-être un peu le massif d'Aïn-Haroun et le compartiment sud-est qui doivent surtout lui apporter le contingent du Zaghouan.

Ce « Massif Central » du Zaghouan se comporte donc, au point de vue hydrologique, comme un bloc de calcaire jurassique *non enraciné*, ou colmaté par en bas. Il peut en être ainsi, notamment par des piliers secs ou même des massifs étendus de trias ou une « fenêtre » quelconque du jurassique, surtout quand on se dirige vers l'ouest; mais un colmatage total de cette façon semble peu probable. L'étanchéité peut d'ailleurs être aussi obtenue *par pression d'eau*. Il est vraisemblable que la réaction lointaine (18 kilomètres) du Ben-Saïdan à surface libre plus élevée dans des calcaires du même âge, en continuité profonde, se fait sentir soit par des diaclases filonniennes ou la Grande Faille, ou les couloirs de la nappe captive. Les « pertes » du Ben-Saïdan (Djoukkar), autrement importantes que celles du Zaghouan, surtout au nord-est, doivent contribuer à y maintenir une surface libre élevée, par suite, *indirectement*, le débit des deux sources.

Les « infiltrations apparentes » au moins sur le périmètre de la Nymphée ont fait l'objet de ma part d'une note à l'Académie des Sciences, citée plus haut. J'ai essayé de déduire du tableau cité page 224 une loi approximative de ces infiltrations. Le nombre cependant relativement petit d'observations utiles pendant ces trois années, ainsi que la difficulté d'isoler nettement l'effet des pluies de printemps qui s'ajoutent confusément au maximum annuel ne m'ont pas permis de distinguer les deux fonctions, f_1 et

f_2 relatives aux « pluies de saturation partielle » et aux « pluies d'alimentation et d'entraînement ». Les nombres du tableau suivant ne sont donc relatifs qu'à la première période (f_1) et à celle du maximum. D'ailleurs le *maximum relatif* consécutif à une chute de pluie met pour s'établir de quatre à six jours, plutôt quatre. C'est ce que j'appellerai l' *établissement* de la source. Ce peu de durée provient de l'existence du couloir de la Nymphée. On a donc :

INFILTRATION apparente mètres cubes	DATES EXTRÊMES		HAUTEURS de pluie ϖ mm.	TEM- PÉRATURES moyennes t	T (jours)	i_A	$10^2 i$
	Mois	Années					
7.500	28/8 — 1/11	1907	63,3	20 C.	206	11,9	1,6
6.650	21/9 — 21/10	1908	50,0	20	158	133	
26.800	1/11 — 22/11	1907	53,4	17	250	303	6,63
104.900	21/10 — 20/11	1908	65 à 70	17	190	1.610	21,2
147.950	22/11 — 11/1	1907-1908	46	12,5	278	3.820	42,4
53.400	20/11 — 20/12	1908	19	11,7	220	2.805	36,9
2.213.740	24/2 — 21/9	1908 (Msi.)	232	11	190	9.160	120,5
1.402.140	26/2 — 29/5	1909 (Msi.)	128	9,9	333	10.920	144,0
160.270	11/1 — 24/2	1908	69	9,0	324	2.310	31,8
505.200	20/12 — 26/2	1908-1909	150	7,6	260	3.360	44,0

t représente la *température moyenne* à Bou-Remada (observateur, l'instituteur) des jours de pluie comptés depuis le début jusqu'à deux jours après pour les longues périodes. Les dates inscrites ne sont pas celles du début et de la fin d'une pluie, mais d'une longue période dont la colonne ϖ indique le total de pluie. Dans les évaluations de la température moyenne pour ces périodes, j'ai donné à celle de chaque pluie un « poids » égal à celui de la hauteur d'eau tombée.

La colonne ϖ indique la hauteur totale de pluie dans chaque période considérée.

Enfin T a la même signification que p , — c'est l'intervalle de temps compris entre le centre de la période de pluie considérée et l'époque du maximum annuel précédent.

La colonne i_A indique simplement un coefficient proportionnel d'infiltration apparente, quotient du contingent de la source par la hauteur totale de pluie d'une période.

Les valeurs exactes des coefficients d'infiltration totale sont, on le sait, inaccessibles à nos mesures, par suite de pertes tou-

jours possibles de la nappe libre en profondeur. J'ai pris alors comme unité pour les nombres de la dernière colonne le coefficient d'infiltration assigné pour l'hiver 1908. On sait que ce nombre est égal à 0,91 si les deux sources drainent toute l'infiltration du versant nord-ouest du compartiment central. Tel serait donc dans cette hypothèse le facteur constant par lequel il faudrait multiplier les nombres de la dernière colonne.

On en déduirait alors dans cette hypothèse comme coefficient moyen d'*infiltration totale* pour toutes les pluies de l'été 1908 à l'été 1909 les valeurs : $i_A = 5.030$ d'où $i = 66,3 \times 0,9 = 59,67\%$ et, pour les pluies de 1907-1908, on avait : $i_A = 5.730$, et $i = 68\%$, pour 427 millimètres.

Ces chiffres montrent ainsi l'influence de l'*abondance* et de la *répartition* des pluies.

On voit en outre que, pour des surfaces à perméabilité directe et presque sans ruissellement comme celle du Zaghouan, on n'est pas loin de la vérité en prenant comme coefficient moyen d'*infiltration annuelle* le nombre 0,6.

Le tableau précédent montre en outre qu'il existe une température *optimum* rendant maximum le coefficient d'« infiltration

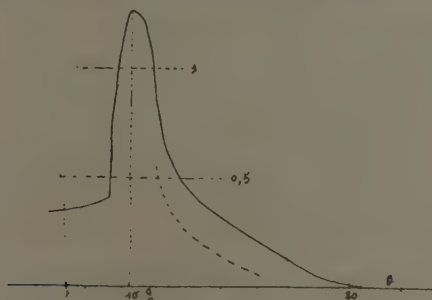


Fig. 13.

apparente » (parfois > 1), c'est celle qui règne au début du printemps où a lieu d'ordinaire le maximum de débit. Pour des températures plus basses (janvier et surtout février), ou bien la saturation n'est pas achevée, ou, sur des montagnes élevées comme le Zaghouan, beaucoup de précipitations atmosphériques ont lieu sous forme de neige qui ne fond souvent (1907) qu'aux pluies du maximum de mars.

En ayant égard à ce fait que l'on n'obtient ainsi que des résultats relatifs à la période de saturation et du maximum (en négligeant l'influence de T), on peut représenter à peu près l'infiltration apparente en fonction de la température et pour des chutes de pluie voisines de 50 millimètres par la formule empirique suivante, applicable pour t compris entre 9 et 20°, u étant une variable auxiliaire :

$$i = 0,9 \frac{3,37 \times 10^{0,20194(t-10)}(1+u)}{-1 + 1,339 \times 10^{0,20194(t-10)} + 2,10^{0,48388(t-10)}}$$

$u = 0$ pour $t = 10, 12$ et 20 .

Pour les autres valeurs de t , $0 < u < 1$, c'est ainsi que pour $t = 11$, $u = 0,619$; $t = 14$, $u = 0,3$, etc., voir le graphique de la figure 15.

Pour des chutes totales de pluie supérieures à 50 millimètres, la valeur de u est à augmenter; pour des chutes inférieures, elle serait à diminuer. Des observations ultérieures, échelonnées sur une plus longue période, permettraient peut-être d'étudier la loi de cette variation.

Ce graphique ne s'applique malheureusement qu'à la Nymphée et pas à des sources comme aïn Ayed et le Djoukkar où l'action des pluies de saturation ne se fait pas sentir.

La monographie particulière des deux sources captées : aïn Ayed et la Nymphée, détail des travaux successifs, des captages et améliorations ne saurait trouver place ici — pas plus que les discussions complètes des évaluations de débit dont j'ai indiqué la méthode au chapitre I. J'en résume seulement ici quelques points dont les résultats précédents sont l'application directe.

Aïn Ayed. — La seule période où j'ai pu admettre, après discussion, que les feuilles hebdomadaires donnaient bien le débit de la source a été le printemps de l'année 1908. Les variations de cette source étant lentes, les « lectures effectives » sont moins fréquentes que celles de la Nymphée.

Les valeurs qui ont servi pour la détermination des formules de prévision sont les suivantes :

t	— 1.	31	52	81	122	164	192	228
Q	2.192	2.084	2.916	2.752	2.555	2.552 ?	2.519	2.416

La dernière valeur 2.416, confirmée. Le maximum 2.916 correspond aux grandes pluies de fin mars 1908.

Ce maximum n'a pas été aussi prolongé par l'influence des pluies d'avril que celui de la Nymphée. Seules les pluies si copieuses de fin mars ont pu agir directement sur cette source et lui imprimer la montée des 30 mars-1^{er} avril 1908.

L'examen général de la portion de graphique de cette source a montré que les pluies de saturation sont presque sans action sur elle; seules peuvent l'influencer les pluies copieuses et prolongées (fait déjà cité dans un rapport de M. Gourguechon en 1906). L'allure en est donc très différente de celle de la Nymphée.

La vraie « branche d'épuisement » semble aussi plus longue à s'établir. Dans le cas précédent, elle ne commence guère avant le point 2.519.

Cette source se trouve à l'extrémité nord du glacier incliné formant surface libre, à 10 mètres seulement au-dessous du griffon de la Nymphée. Les hauteurs des lignes de faite des portions de la surface libre qui l'alimentent sont donc peu considérables, moindres que pour la Nymphée. En outre, le massif des calcaires jurassiques, *enraciné ou non*, descend à une très grande profondeur en dessous du griffon: de plus, ces calcaires sont plutôt perméables en grand par des fissures, qu'imperméables et creusés de cavernes locales. Il y a donc des circulations en profondeur, probablement plus bas que le seuil apparent actuel. La source est donc une source à seuil très haut, beaucoup plus que la ligne de faite de la surface libre au-dessus de lui. Elle est de plus assez protégée contre la transpiration d'été par une grande hauteur de roche abrupte et dénudée et par la largeur des fissures peu favorables à l'ascension capillaire. Sa formule d'épuisement ne doit pas être éloignée d'une exponentielle.

En effet, si l'on fait passer une exponentielle simple par les deux points (192 — 2.519) [très vraisemblable] et (228 — 2.416) [confirmé]:

$$Q = a 10^{-\alpha(t-192)} \quad a = 2.519$$

On a :

$$\alpha = 0,000503$$

Or, le premier point est sur la retombée à la suite de la fin de l'infiltration. Il donne donc pour α une valeur un peu forte.

En effet, pour $t = 164$, on a :

$$Q \text{ mesuré} = 2.552$$

$$Q \text{ calculé} = 2.602$$

et la différence de -50 , bien que peu importante, n'est cependant pas négligeable.

Après cinq mois d'épuisement, on aurait d'autre part :

$$Q \text{ calculé} = 2.117, \quad \text{et après six mois :} \quad Q \text{ calculé} = 2.055$$

Ces deux valeurs encadrent bien le nombre 2.100, fourni si longtemps dans les feuilles hebdomadaires de 1907 et 1908.

On est donc, en somme, assez près de la vérité en assignant à la source un coefficient de tarissement de :

$$\alpha' = 0,0005 \text{ (décimal)} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{\alpha'}{M} = 0,00115 \text{ (nombre } e\text{)}.$$

Ce coefficient est à peu près quatre fois moindre que celui de la Nymphée.

D'ailleurs, par suite de la lenteur des infiltrations dont certaines viennent de loin, il semble nécessaire, pour représenter le débit de la source, non plus en épuisement, mais quelques semaines seulement après le maximum, de faire appel à des exponentielles supérieures.

Pour la période 1907-1908, dont les données n'offrent pas la même certitude, on aurait les points : $(-4 \ 2192) [31, 2084]$, d'où (exponentielle simple) :

$$\alpha = 0,000627.$$

Ce nombre est relatif à une infiltration d'hiver où février avait été sec. Si l'on veut tenir compte de ce nombre, on pourra prendre comme valeur moyenne de α : 0,00055 (un peu forte pour les raisons indiquées plus haut).

J'ai d'ailleurs pu évaluer les *infiltrations apparentes* sur le bassin-versant de la source produites par les pluies de mars 1908 (de $t = 31$ à $t = 192$); j'ai employé comme graphique d'épuisement de 1907 :

$$q = 2.084 \times 10^{-0,00055(t-31)}.$$

J'ai obtenu ainsi, avec $\alpha = 0,00055$ pour les deux années :

Aire complémentaire.	82.120 m ³
Aire exponentielle (triang.) :	32.330 —
Aire asymptote.	646.700 —
Total	761.150 —

En appelant débit moyen celui qui résulterait d'un écoulement uniforme fournissant ce contingent au bout de 365 jours, on obtient le nombre 2.085 m³/j.

Ce nombre est un peu inférieur à celui que j'avais assigné plus haut, en faisant, en 1908, la somme des nombres des feuilles hebdomadaires. Cela tient d'abord à ce que le coefficient $\alpha = 0,00055$ est un peu trop grand ; puis à ce que ces derniers nombres renferment des infiltrations de 1906-1907, lesquelles ont été supérieures à celles de 1907-1908.

Avec cette donnée, on trouve comme infiltration annuelle totale des deux sources dans l'hiver 1908 la valeur : 3.045.150 mètres cubes, et comme surface du bassin-versant commun 10 kilomètres carrés, soit encore le nombre indiqué plus haut.

La *vitesse de crue* du débit d'une source dans des conditions données caractérise autant une source que le coefficient de tarissement, bien que fonction plus complexe. Or, en 1908, pour $t = 31$, $Q = 2.084$; et $t = 52$: Q , 2.916 (fin mars), d'où une vitesse de crue exprimée par :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{832}{21} = 39,6 \text{ m}^3/\text{j.}$$

Le débit de la Nymphée dans le même temps s'était accru de 5.800 mètres cubes. Le rapport des deux vitesses est donc :

$$\frac{A}{N} = \frac{832}{5.800} = \frac{1}{7} \text{ environ.}$$

Le débit d'aïn Ayed, pour les pluies brusques et copieuses, croît donc 7 fois moins vite que celui de la Nymphée.

L'existence de la masse rocheuse directement au-dessus du griffon et l'altitude moindre de ce dernier suffisent donc pour donner à aïn Ayed une vitesse de crue 7 fois moindre et un coefficient de tarissement 4 fois moindre que ceux de la Nymphée.

Source de la Nymphée. — C'est par cette source qu'ont commencé mes études sur les formules de prévision de débit des sources tunisiennes. C'est l'étude et la discussion des irrégularités apparentes des « graphiques bruts » sous l'influence des déversements ou des chutes de pluie qui m'a amené à la méthode exposée chapitre I, et que j'ai ensuite appliquée aux autres sources.

L'exposé de cette discussion ne saurait tenir place ici, je n'en donne que quelques éléments.

En 1906-1907, l'été 1906 ne fut pas dépourvu de pluie. Ainsi à Moghrane on a eu : juin, 31,5 millimètres; juillet, 3; août, 27. Septembre fut *pluvieux*, plus même que certains mois d'hiver : 97,25 millimètres; octobre encore, 53,75. Novembre, par contre, presque pas : 10. Décembre, très pluvieux au début : 76,5.

Par suite de l'abondance des pluies d'automne, celles de décembre furent déjà de vraies pluies d'alimentation. C'est ainsi que le débit fut en augmentation jusqu'à un maximum en fin décembre. Le 1^{er} janvier 1907, il était en baisse, avec minimum déjà élevé de 7.730 atteint vers le 5.

Janvier 1907 fut pluvieux; total : 41,8 à Zaghouan ville, 78,7 à Moghrane, 46,1 au Poste Optique. La *neige*, après une petite chute le 1^{er}, fit son apparition le 4 et se maintint sans interruption jusqu'au 9 et avec pluie jusqu'au 13.

L'augmentation de débit dès le 5 fut d'abord lente : 40 à 50 mètres cubes par jour jusqu'au 30, par suite de fusion progressive de la neige. La température moyenne de 5°,2 dans les premiers jours monte à 12 ou 13° à la fin.

Février offrit aussi de la neige au début : 24 millimètres au Poste Optique. Gelée, les 3, 4 et 6 au pied même. — Débit : maximum relatif entre deux points d'inflexion, le 7 février, soit quatre jours environ après le début de la pluie. Du 14 au 19, période de pluie abondante et neige le premier jour. C'est cette chute de pluie qui, du 17 au 19, a hâté l'entraînement des eaux de saturation et déterminé la montée presque verticale du graphique le 19 et le maximum absolu de l'année, atteint le 21, soit cinq jours après la fin de la grande pluie.

Ce maximum, le plus grand des trois années, a été de 14.600 mètres cubes. Ce débit considérable provient de la hauteur de pluie de ces quatre jours (74,3 au Poste Optique) et aussi de la grande proportion de neige pendant tout cet hiver.

Fin février et commencement de mars : peu pluvieux. Débit en baisse dès le 22, maximum relatif le 27, trois jours après la chute de pluie du 24.

Au milieu de mars, pluies modérées. Débit maximum relatif le 9, maximum relatif vers le 16, mais peu marqué et très méplat, soit six à sept jours après la forte pluie du 9. Ce retard de sept jours est élevé : il semble résulter du refroidissement qui avait amené de nouveau la gelée sur les sommets. Le maximum relatif est d'ailleurs suivi vers le 26 d'une « baisse inexplicable », consécutive probablement à l'ouverture d'une décharge.

A partir d'avril 1907, le Poste Optique évacué ne fournit plus d'observations : heureusement, les pluies deviennent peu importantes, surtout au point de vue des infiltrations, et l'interpolation entre les trois stations de Moghrane, Zaghouan ville et Bou-Remada semble admissible.

Le débit fut d'ailleurs assez peu influencé par ces pluies ainsi que par celles de l'été, lequel fut encore relativement humide.

C'est ainsi qu'on observa un maximum relatif vers le 19 avril, six à sept jours après les pluies du 12. Augmentation de débit, peut-être 200 litres par jour seulement ; puis baisse assez rapide (peut-être un peu par l'effet d'une décharge) jusqu'au minimum relatif du 26 ; puis arrêt rapide de la descente les 27 et 28 et surtout le 2 mai, puis un long maximum relatif très méplat vers le 10. Ce dernier est à peu près dans le prolongement du maximum relatif précédent, ce qui indique que si les pluies ont fait subir à la source une action locale de surpression, les infiltrations résultantes ne lui ont cependant pas profité. Ce sont donc déjà des pluies d'été ou de « transpiration ».

C'est vers les 13 et 14 mai que se trouve la grande chute de débit qui produit un déficit constant de près de 800 mètres cubes par jour. Cette valeur, très voisine du déficit du 26 mars et aussi des déficits maximums de 1908 et 1909, ne me semble guère pouvoir s'interpréter autrement que par l'ouverture en plein d'un canal de décharge donnant ce débit, sous la hauteur d'eau qui régnait au griffon à ces époques, et qui a dû rester dans l'état pendant toute la durée de ce déficit, soit jusqu'au milieu de septembre. En effet, dans toute cette période, le graphique surbaissé offre une régularité remarquable, et rien de plus n'est venu influencer sensiblement le débit.

Les 13, 14 et 15 juin, coup de siroco et orage général au Poste Optique, 17,3 millimètres. Une diminution dans la descente se produit, avec maximum relatif vers le 19 : augmentation relative de près de 100 mètres cubes, d'ailleurs suivie de baisse rapide : elle ne produit pas de décalage constant du graphique. On a donc ici affaire plutôt à l'action rapprochée du couloir de la Nymphée.

En juillet : pas de pluie nulle part. En août 3 millimètres à Moghrane. Les pluies de mai et juin ont été cependant suffisantes pour atténuer la dépression du graphique d'épuisement si sensible en 1908.

Les pluies de saturation de l'automne 1907 furent d'abord assez abondantes. Ainsi, du 15 au 22 septembre, surtout au-dessus et au voisinage de la montagne. Octobre fut aussi moyennement pluvieux, surtout les 14 et 18.

Le *débit* remonte le 20 août par suite de fermeture de la décharge ou d'obstruction brusque de la perte : maximum relatif vers le 6 septembre, quatre jours après la pluie ; 2^e maximum relatif plus saillant le 20, encore quatre jours après maximum de pluie, ce dernier produit un décalage subsistant quelques jours (100 m³/j.). Ces pluies de septembre ont donc déjà profité à la source momentanément, malgré la température élevée ; 3^e maximum relatif vers les 5 et 6 octobre ; gain moyen de débit pour les trois infiltrations : 150 m³/j. ; minimum relatif vers le 12 octobre ; 4^e maximum relatif le 25 octobre, soit trois ou quatre jours après la forte chute de pluie ; il ne dure encore pas longtemps, et est suivi de minimum relatif vers le 1^{er} novembre. L'exponentielle d'épuisement passe très près de ce minimum.

Je signale spécialement à l'attention des personnes qui seront à même plus tard de suivre les débits des sources, l'importance qu'il y aurait à déterminer avec une précision spéciale cette portion de graphique de septembre-octobre, car c'est elle qui montre le caractère spécial de ces pluies de saturation, et permettra de déterminer leur influence et celle du couloir de la Nymphée et d'autres ravins du massif.

Novembre fut relativement peu pluvieux : un peu au début, puis à la fin, les 24 et 25.

Le débit conserve la même allure jusque vers le 25, soit cinq jours après la pluie du 20, puis la descente du graphique diminue

progressivement : la saturation proprement dite est finie. Un maximum très méplat a lieu vers le 30 ; mais la courbe ne s'incline plus, *malgré la sécheresse persistante*, c'est l'allure même du graphique qui se modifie ; l'écart avec le graphique d'épuisement prolongé va en croissant : à partir de ce moment, les pluies *profitent à la source* : ce sont des pluies d'alimentation partielle.

Les pluies d'alimentation de l'hiver 1907-1908 ont été moins abondantes que celles du précédent.

C'est ainsi que décembre n'a donné de pluies que le 8, orage au Poste Optique, puis quelques petites averses.

Le débit, malgré l'absence de mesures effectives vers les 25 et 26, apparaît nettement comme « en palier », pour offrir même un maximum absolu dans les premiers jours de janvier, sous l'influence des pluies du début de 1908.

Les pluies de janvier 1908, assez importantes, eurent lieu le 5, les 13 et 14, du 22 au 27. Février offrit de courtes périodes pluvieuses séparées par une période sèche. La première, du 2 au 6, la deuxième, du 25 au 29.

Le débit, après le maximum du 6, offrit un minimum le 12, puis remonta, et à la fin du mois se trouvait en augmentation de 20 mètres cubes par jour. Les pluies du début ne font donc sentir leur action qu'à partir du 12, influence de la neige mélangée. La montée dura jusqu'au 11 février et fut suivie d'une baisse, six jours après la fin de la pluie. A partir du 27, le débit remonta, mais lentement, par la fonte progressive de la neige ; il offrit ensuite un maximum, que l'absence de lectures sûres de débit jusqu'au 20 mars suivant ne permit malheureusement pas de contrôler.

Mars 1908 fut très humide : « mois réparateur », d'après les tableaux de M. Ginestons. Période sèche jusqu'au 7. Pluie copieuse les 7 et 8, surtout dans l'ouest du massif. Le 16, deux jours de « tempête du sud » avec pluie. Enfin, du 20 au 25, période principale de pluie de l'année : 130,6 millimètres au Poste Optique, 134 à Zaghouan ville. Du 28 au 31, reprise de la pluie : 21,5 au Poste Optique. En avril, l'évacuation du Poste Optique rend les mesures moins certaines. Pluies du 5 au 8, à Zaghouan ville, 23,9 millimètres, les 12 et 13, 4 millimètres, les 20 et 21 encore légères pluies.

Le graphique de débit a présenté les particularités suivantes : augmentation lente d'abord : sans contrôle du 6 au 20. Il semble

en outre que le débit brut de 4.684 mètres cubes indiqué pour le 20 provienne d'*absence de lecture* : jamais un graphique réel de débit ne peut offrir de pareil point anguleux ; le débit de 5.690 indiqué pour le 21 provient d'*infiltrations antérieures*. Les débits suivants : 22, 9.217 ; 23, 10.085 ; 24, 10.217, offrent toute vraisemblance, l'allure du débit est bien la même que celle du 1^{er} au 5 avril. Par contre, le nombre 9.217 pour le 24 n'exprime pas le débit réel, mais le débit diminué de celui de la décharge. Le débit de cette décharge est supérieur à 10.085 — $9.217 = 868$. Si l'on admet 1.000 mètres cubes comme débit (cf. en 1907), on obtient un graphique « corrigé » très vraisemblable. D'autant plus qu'au mois d'avril on a, le 1^{er}, 11.648, le 5, 11.820, *dans une période absolument sans pluie*. L'élévation apparente brusque correspond par suite à la fermeture de la décharge.

L'allure du graphique pendant le reste du mois d'avril et jusque vers le 13 mai s'explique encore en supposant un déversement constant voisin de 500 mètres cubes, soit la moitié du précédent entre les 5 et 6 avril et 10 et 11 mai ; ce déficit correspondrait donc à la moitié de l'ouverture de la décharge.

En 1909, comme on le verra, ce déversement, d'ailleurs légal, a été reconnu par la Compagnie des Eaux. En 1908, il est quasi certain qu'il eut lieu aussi vers le maximum. En effet, s'il n'en n'avait pas été ainsi, on serait en présence de perturbations de débit très graves et brusques, comme seules pourraient en produire l'ouverture d'une perte au voisinage même du griffon, ou celle d'un nouveau griffon, ou une obstruction du canal par suite d'éboulement. De tels accidents ne sont pas impossibles, surtout dans un pays à tremblements de terre, témoin le déplacement constaté du griffon principal, vers le sud du Temple des Eaux, depuis l'époque romaine. Ils doivent avoir lieu d'ailleurs de préférence aux périodes de montées brusques comme celle de mars 1908. Cette question est donc liée à celle d'une perte possible de la source. Il en résulte aussi la nécessité, que j'avais signalée pendant mon séjour, du contrôle des décharges, surtout au moment des maximums annuels.

Mai et juin ont été partout sans pluie, juillet aussi, sauf le 31, où un violent orage local a peut-être un peu touché la montagne. C'est ainsi que les 4 et 5 août, un léger maximum relatif semble indiquer une action sur le couloir de la Nymphée. Août fut de

même sans pluie. Septembre offrit les premières pluies de saturation vers les 21 et 22.

Le débit offre une montée importante à partir du 18 : elle n'est donc pas une conséquence de ces pluies ; mais plutôt de la diminution de la *reprise par l'atmosphère*. Le graphique d'été de 1908 est, comme on sait, beaucoup plus déprimé de ce fait que celui de 1907. Cette montée offre cependant un accroissement de pente vers le 24, qui, lui, peut résulter de ces pluies.

En octobre, il faut encore enregistrer une lacune par suite d'absence d'observations pluviométriques à Zaghouan ville et au Poste Optique jusqu'au 1^{er} janvier 1909. Les relevés de Moghrane et de Bou-Remada permettent d'ailleurs l'interpolation, au moins lorsqu'il s'agit de pluies générales comme les suivantes.

Le débit offre une chute rapide après les dernières pluies de septembre et ne remonte qu'après les grandes pluies des 22 et 23 octobre. À partir de cette date, le diagramme est en montée : changement d'allure, la saturation est finie ou très avancée, maximum vers les 5 ou 6 novembre.

Novembre offrit assez peu de pluie les 11 et 12, puis du 20 au 23. Décembre en fournit d'abord le 7, puis vint une période pluvieuse du 15 au 21. Enfin le 28, commença une longue période de pluie avec neige qui dura plus de vingt jours. La pluie étant générale, interpolation possible ; puis une période sèche, et ensuite période pluvieuse du 27 janvier au 3 février.

Le débit offre un maximum absolu vers le 1^{er} décembre, puis baisse lentement. Il semble peu affecté par la pluie du 16 décembre, mais monte à partir du 27, d'abord lentement, puis rapidement par la fonte des neiges. Maximum absolu « apparent » vers le 14 janvier : la baisse consécutive semble due à un déversement ; puis du 15 janvier au 26 février, les feuilles hebdomadaires ne portent que le nombre 5.051 qui indique bien l'absence de lecture. La valeur 5.101 pour le 26 semble vraisemblable.

D'après l'expérience des années précédentes, le débit a certainement dépassé 5.500 mètres cubes vers les 28 janvier et 1^{er} février. L'augmentation de fin février continue.

Mars 1909 offrit des pluies importantes, d'abord du 8 au 13, et surtout du 21 au 25 avec maximum les 21 et 22, et encore un peu le 30. Avril en offrit du 2 au 6, pluie générale ; puis les 9 et 10, et enfin du 19 au 23. En mai, on n'eut de pluie impor-

tante que du 27 au 29, mais c'était déjà une vraie pluie de printemps.

Le débit en mars est en montée avec accélération vers le 17, et plus encore vers le 23. Point d'inflexion quatre jours après la grande pluie, maximum relatif vers le 19. En avril, la montée, d'abord rapide, se ralentit : minimum relatif suivi de montée brusque le 5; encore léger maximum relatif le 13; enfin maximum offert par le graphique brut le 19, suivi d'un déversement reconnu par l'exploitant de 800 m³/j. Cette donnée admise, le maximum absolu du débit doit être reporté au 21 avril suivant.

Je n'ai donné un résumé de cette discussion un peu longue que pour montrer les difficultés où l'on se trouve d'obtenir, à toute époque de l'année, des données concordantes et pouvant servir de bases à des calculs au moyen d'observations parfois incomplètes.

Formules de prévision de débits de cette source. — Je ne reviens pas sur les formules exponentielles simples ou à trois termes que j'ai données dans un travail précédent. La correction v en 1908, fraction rationnelle en fonction du débit, me semble relative à la reprise par l'atmosphère plus intense dans l'été 1908 qu'en 1907. Ceci explique aussi la chute plus rapide du diagramme aux mois de juin et juillet, et, par suite, la valeur plus grande de l'exposant et de l'exponentielle simple par suite de l'accroissement du coefficient de tarissement.

J'ai déterminé d'autres formules de prévision d'après la méthode exposée chapitre II. D'abord une somme exponentielle à terme tout connu. Une telle formule, que ne prévoit pas la théorie, peut cependant aussi s'appliquer. Prenons l'année 1908.

Dans la première colonne du tableau suivant, j'ai mis les valeurs de Z_{100} , défini plus haut et celles de l'écart maximum des différences secondes, correspondantes des valeurs du graphique corrigé, donc :

Z_{100}	Écart Δ_2	Écart Δ_1
0,6	175	295
0,7	90	160
0,75	165	285

On voit donc que pour $Z_{100} = 0,7$, ce qui donne : $\alpha = 0,0015489$, Δ_2 est bien près d'être minimum.

Dans le cas de formule sans terme constant, j'ai constaté que c'était encore la valeur $Z_{100} = 0,7$ qui convenait le mieux. J'ai construit alors le tableau, dont je donne la première ligne, suivant :

Q mesuré	Z	$\frac{Q}{Z}$	$\Delta_1 \left(\frac{Q}{Z} \right)$	$\Delta_2 \left(\frac{Q}{Z} \right)$
$Q_0 = 11.150$	1	11.150	— 181	— 6

L'écart de Δ_2 fut encore de 90 : il semblait donc qu'un quatrième terme fût inutile. On eut alors Δ_2 moy. = 7,35.

La formule obtenue en prenant $\Delta_1 = -181$ et $\Delta_2 = 6,5$ donna des valeurs de Q calculé trop fortes. Les dernières différences dépassaient 100.

Par contre, en prenant $\Delta_2 = 6$, on eut le tableau suivant que je donne pour montrer la confiance qu'on peut avoir en de telles formules :

$e = \frac{Q}{Z} \text{ mes.} - \frac{Q}{Z} \text{ calc.}$	$\frac{Q}{Z}$ mesuré	$\frac{Q}{Z}$ calculé	e	$\frac{Q}{Z}$ mesuré	$\frac{Q}{Z}$ calculé
0	11.150	11.150	— 9	10.000	10.009
0	10.969	10.969	— 8	9.862	9.870
— 12	10.782	10.794	— 4	9.733	9.737
+ 7	10.632	10.625	+ 33	9.643	9.610
— 13	10.449	10.462	+ 18	9.507	9.489
— 13	10.288	10.305	— 8	9.366	9.374
— 32	10.122	10.154	— 11	9.254	9.265
			— 7	9.155	9.162
			+ 17	9.082	9.065

Les écarts extrêmes sont donc — 32 et + 33. Leur somme représente seulement un peu plus d'un demi-millimètre dans le graphique à l'échelle choisie. L'accord est donc satisfaisant.

La formule de prévision qu'on en déduit en appliquant à $\frac{Q}{Z}$ la formule d'interpolation de Newton et remplaçant Z par sa valeur est :

$$Q = 20.416 \times 10^{-\alpha t} - 12.599 \times 10^{-2\alpha t} + 3.333 \times 10^{-3\alpha t}$$

avec $\alpha = 0,0015489$.

On voit encore qu'elle peut très bien représenter les trois pre-

miers termes d'une série convergente. On retrouve de plus les « signes des coefficients initiaux » de 1908 que j'avais déjà indiqués dans un premier travail.

Une autre expression, conforme aux données de la page 196 et mettant en évidence la forme sinusoïdale de la transpiration, serait pour l'année 1908 :

$$Q = 11.150 \times 10^{-0,0021 t} - 240 \sin \frac{3}{2} t \quad (t \text{ en jours})$$

comme plus haut $t = 0$ pour $Q = 11.150$. Cette formule est moins exacte que la précédente.

Coefficient de tarissement. En raison de la variabilité de la transpiration estivale, le *coefficient de tarissement moyen vrai* de la source est *fort difficile à obtenir*. Si on prend la portion de graphique en voie de remontée par diminution en automne de cette transpiration, on obtient une valeur trop faible (exemple en 1907, septembre probablement). Si, au contraire, on le détermine entre octobre humide et novembre sec, on a une valeur trop forte.

C'est ainsi que, en 1907, on a après les pluies de septembre :

$$t = 240 \quad Q = 7.500 \quad \text{et} \quad t = 305 \quad Q = 5.750$$

passant par le minimum relatif consécutif : $\alpha = 0,001775$ (décimal) valeur trop forte.

En 1908, en prenant les minimums des points :

$$t = 622 \quad Q = 6.000 \quad \text{et} \quad t = 660 \quad Q = 5.100; \quad \alpha = 0,001858$$

valeur paraissant trop faible encore pour cette année, car ce premier minimum cité est trop bas et visiblement en dessous de la courbe d'épuisement. Je rappelle que j'avais assigné pour lui une valeur trop forte.

En 1909, en prenant les points $t = 162$, $Q = 6.040$ et $t = 2.000$, $Q = 5.220$,

valeur paraissant un peu faible : $\alpha = 0,00186$. Le même à peu près qu'en 1908.

Il semble donc bien que le coefficient de tarissement aurait augmenté depuis 1907.

La question des pertes de la source se pose alors. Les argu-

ments émis dans le travail précité subsistent, sauf celui du coefficient d'infiltration qui perd de sa valeur.

Le coefficient d'infiltration pour l'hiver 1908 a été trouvé égal à 0,91, celui de 1909, à 0,86 seulement. Mais la répartition des pluies a été différente pendant les deux années. Dans l'arrière-saison de 1907, les pluies de saturation ont été abondantes, par contre les premières pluies d'alimentation (décembre-début de janvier) l'ont été assez peu. Elles ont donc contribué surtout à maintenir complète la saturation du réservoir. Quand ensuite les pluies diluviennes de fin mars sont arrivées, elles ont agi immédiatement et ont fait écouler avec elles-mêmes le reste des eaux de saturation. Comme une pluie copieuse subit une « infiltration instantanée » plus rapide et plus complète qu'une autre, il s'ensuit pour cet hiver 1907-1908, un coefficient d'infiltration totale considérable. D'autre part, dans l'arrière-saison de 1908, les pluies de saturation ont été moindres qu'en 1907, par contre les premières pluies d'alimentation furent abondantes (fin décembre); mais février manqua d'eau et mars et avril furent moins pluvieux et n'offrèrent que des pluies d'un volume et d'un débit individuels *beaucoup moindres* qu'en mars 1908. La différence de 0,91 — 0,86 = 0,05 est inférieure à celle qu'on obtient par exemple entre des coefficients « instantanés » dans des mesures directes en se plaçant dans ces deux séries de conditions différentes.

Il semble donc que cette différence doive être attribuée plutôt à une cause météorologique qu'à une perte de la source.

Il n'en est pas moins vrai cependant que l'augmentation du coefficient de tarissement, qui ne dépend que de l'appareil interne, indique une modification soit dans le contour libre, soit dans la surface libre, soit dans la *conductibilité* au voisinage du griffon.

Chaîne du Zaghouan. — C'est l'alignement assez rectiligne de petits dômes qui fait suite au Zaghouan au sud-ouest et va du col de Sidi-Médine au col de « l'Oukanda » au nord-est du Ben-Saïdan où passe la piste de Kairouan. Ce sont le Chagaga (aptien), le Rohol et l'Aziz, dont les deux derniers offrent du jurassique. Ils ne présentent aucune source de ce dernier terrain: donc, comme au djebel Oust, la surface libre interne est en dessous de la ligne de contact, laquelle est ici très élevée. J'y reviendrai à propos de la nappe du jurassique.

VII — Le Ben-Saïdan (Djebel Djoukkar)

C'est le deuxième dôme jurassique important au sud-ouest du Zaghouan. Comme lui, il est colmaté sur trois côtés par une ceinture de schistes néocomiens, au nord-est côté de l'Oukanda et de la dechera Ben-Saïdan, au nord-ouest côté du Djoukkar et au sud-ouest vallée de l'oued el-Assed, synclinal de néocomien parfois très froissé, avec ridements transversaux, lambeaux aptiens redressés dans la partie inférieure. L'extrémité supérieure de cette vallée au col du Sidi-Ameur offre des lambeaux de schistes dissociés avec un petit dôme local de calcaire jurassique au milieu. Cette vallée est donc un lieu de décrochement et de froissements analogues au Fedj-Sach du Zaghouan. Elle sépare le dôme du Ben-Saïdan du dôme jurassique voisin, le Fkirine, à noyau triangulaire, comme le djebel Staa. La position de ce dôme par rapport au Ben-Saïdan est en tous points analogue à celle du djebel Staa par rapport au Zaghouan bien que le Fkirine soit plus élevé que le Ben-Saïdan.

Sur le flanc sud-est, les deux dômes buttent contre l'éocène marneux par un contact anormal prolongeant la « Faille du Zaghouan ». Ce contact que j'ai observé offre bien ici les allures d'une faille, au-dessus, par exemple, d'aïn Mrhotta vers l'angle est du Ben-Saïdan.

Je ne m'étendrai pas ici sur la structure de ce massif et me contenterai de renvoyer à la coupe exacte et précise qu'en a donnée M. Pervinquière : de aïn Djoukkar à la Faille.

Le Ben-Saïdan offre deux sources : au nord, la petite source de la dechera Ben-Saïdan, au nord-ouest la grande source du Djoukkar (l'ancienne Zuccaria des Romains) avec restes de « Temple des Eaux » comme à la Nymphée, toutes deux captées pour Tunis. Il existe en outre de petites sources dans des ravins descendant sur l'oued el-Assed, et sur la pérennité desquelles je ne suis pas fixé. La petite source aïn Mrhotta est une source de la faille à griffon dans l'éocène, dont je n'ai fait qu'un examen superficiel et qui pourrait aussi drainer indirectement des eaux du massif jurassique, comme les sources correspondantes du Zaghouan.

Quant au djebel Fkirine, dont on ne peut pas séparer l'étude

hydrologique du précédent, il n'offre que la petite source de la dechera de Sidi-Ameur.

Aïn Ben-Saïdan. Cette source sort près de la « dechera » du même nom à l'angle ouest d'un ravin sec, à son débouché dans la plaine. Cette vallée constitue une gouttière synclinale rassemblant les eaux d'un bassin étendu (renfermant le point 467 de la carte au 1/50000^e, et pouvant s'étendre jusqu'au point 496) (1).

La position du griffon de cette source résulte de deux cassures : une cassure perpendiculaire au thalweg de l'oued faisant buter des calcaires portlandiens presque horizontaux contre des bancs inclinés de ces mêmes calcaires, et une seconde parallèle au thalweg, à l'ouest.

En outre, les changements de pendage et de direction des bancs de part et d'autre du ravin indiquent probablement, non une faille au thalweg, comme on serait tenté de le croire, mais le passage d'un synclinal aigu comme j'en ai constaté, depuis, beaucoup dans le nord de la Tunisie. Il n'en est pas moins vrai que la clef de voûte est une zone de fissuration filonienne ; par suite pour les eaux, un lieu de moindre résistance, par suite, aussi, de *descente en profondeur* des eaux du Ben-Saïdan. C'est ce qui explique la multiplicité des filets d'eau qui ont été recoupés par les travaux de recherche de la Compagnie des Eaux et dont un seul, le plus élevé, est amené dans la conduite de Tunis et constitue proprement aïn Ben-Saïdan (venue est, provenant du thalweg, venue ouest de la faille de la dechera). Ce qui confirme encore ces vues, c'est l'existence, à l'aval, de petites sources considérées jusqu'ici comme des pertes de aïn Ben-Saïdan. Une de ces sources même assez importante sert aux besoins des indigènes. Il semble que l'on soit bien ici en présence du vrai mode de descente en profondeur des eaux du jurassique. Ce phénomène n'a lieu que par des zones de cassures ou zones filoniennes, plus ou moins étroites et localisées.

Les débits assignés à la source par les feuilles hebdomadaires sont trop peu variables et trop loin des débits réels de la venue pour donner lieu à un calcul quelconque.

Une opération, il est vrai *fort délicate*, mais qui en cas de succès aurait un résultat scientifique et économique considérable,

(1) Feuille de la carte au 1/50000^e djebel Fkirine.

consisterait à dégager, jauger et, si possible, amener toutes ces venues. Les difficultés et dangers de cette opération seraient la descente progressive des eaux dans cette roche très épaisse et fissurée. On se trouve en présence d'un cours d'eau souterrain complexe, comme par exemple l'oued Bargou, avec cette aggrava-tion que l'on ne connaît pas ici, à peu de distance en profondeur, d'assise imperméable capable d'arrêter la descente. L'altitude assez élevée du griffon capté provient de la butée locale de ce cours d'eau contre le paquet d'argile de la dechera.

La source *aïn Djoukkar* sort, comme on sait, dans l'infra-crétacé à près de 500 mètres des affleurements des calcaires jurassiques, d'un des nombreux filons qui traversent les schistes néocomiens. Telle est aussi la position que lui a donnée M. Pervinquière dans sa coupe du Ben-Saïdan.

Les nombres des feuilles hebdomadaires ne m'ont pas fourni un graphique complet pour une année entière comme pour la Nymphée; mais la comparaison des portions de graphique vrai des trois années m'a amené à une reconstitution du graphique complet assez vraisemblable pour permettre l'étude approchée des infiltrations et la détermination d'une formule de débit en épuisement.

C'est ainsi que, pour l'année 1907, on observe la baisse d'hiver jusqu'au 30 janvier. Minimum voisin de 5.000 mètres cubes, puis vient une montée non contrôlée que j'ai reconstituée d'après celle de 1909, qui, pour la Nymphée, ressemble beaucoup à celle de 1907. Le maximum atteint vers $t = 80$ (21 mars) est certainement compris entre 11.100 et 11.500 mètres cubes, soit bien supérieur au nombre 7.750 formant le palier du graphique brut.

La branche d'épuisement qui a suivi est, par contre, assez bien déterminée. Elle n'a d'ailleurs *rien d'une exponentielle*. Les valeurs du coefficient de tarissement varieraient ainsi de 0,0019 à 0,0005, soit presque comme de 4 à 1. Autant la partie élevée paraît courbée, autant la branche asymptote se rapproche d'une droite.

Pour l'année 1907, la formule hyberbolique suivante a donné un accord satisfaisant avec le graphique corrigé, au moins pour les parties hautes :

$$t' = t - 200 \text{ (de la Nymphée 1907) :}$$

$$Q = 3.364 + \frac{4.386}{1 + 0,01044 t'}.$$

Le débit est donc la somme de deux termes : un terme constant et un terme hyperbolique. Le terme constant correspond à une venue profonde peu variable comme peut en fournir la nappe captive, le terme hyperbolique correspond à une source à seuil *très bas*. Et, en effet, le griffon de la source a été abaissé par sa pénétration dans le filon du néocomien où elle est aujourd'hui captée. Mais l'épuisement ne se prolonge pas longtemps cette année-là, à cause de la précocité des pluies de saturation (fin septembre). C'est ainsi que pour

$$t' = 150, \text{ on a : } \Delta = Q \text{ mes.} - Q \text{ calc.} = + 46,$$

alors que pour $t' = 90$, on avait $\Delta = - 95$.

En 1908, comme en 1907, le maximum n'est pas contrôlable : on n'a pas non plus, comme en 1907, les parties hautes de la courbe d'épuisement, mais seulement les parties moyennes après diminution de la descente, et la branche asymptote.

Si, pour cette année, on détermine avec les premiers points une expression de même forme que pour 1907, on trouve :

$$Q = 3.173 + \frac{4.429}{1 + 0.001044 t'}$$

soit une formule *fort peu différente de celle de 1907*. Mais cette expression donne des valeurs trop faibles pour les derniers points. C'est ainsi que pour $t = 186,9$ (compté sur le graphique de 1907), on a $\Delta = + 97$. Cette différence semble trop forte pour être due au hasard.

Or, si nous considérons les dernières valeurs des débits « du graphique corrigé », nous trouvons, pour des valeurs de t de trente en trente jours, les valeurs de Q :

	Δ_1
5.250	230
5.020	250
4.770	240
4.530	

dont les différences premières résultant du tableau précédent offrent une moyenne de 240 et un écart de 20 seulement. Cet écart est négligeable. On peut donc admettre que cette portion du graphique *est une droite : c'est la droite*

$$dq + 8 d't = 0.$$

Si d'ailleurs on calculait le « coefficient de tarissement » relatif aux deux derniers points, on trouverait :

$$\alpha = 0,000746$$

soit une valeur beaucoup plus faible, près de trois fois moindre que celui de la Nymphée.

On peut aussi remarquer que la descente du mois de janvier 1907 est aussi très voisine d'une droite de coefficient angulaire — 8.

On peut donc admettre comme graphique d'épuisement type du Djoukkar la courbe suivante :

1° Pour les points élevés (juillet août et peut-être septembre), une hyperbole équilatère de la forme :

$$Q = a + \frac{b}{1 + \alpha t}$$

avec a et b voisins des valeurs précédentes et $\alpha = 0,001044$;

2° Au-dessous de $Q = 5.000$, une droite de coefficient angulaire — 8 raccordée avec l'hyperbole à peu près en ce point.

Cette nature du graphique d'épuisement s'explique, comme on l'a vu plus haut, par le peu de hauteur du seuil, ou ce qui revient au même, la grande élévation de la surface libre du Ben-Saïdan au-dessus du griffon de la source, descendu jusque dans l'infra-crétacé, et ensuite, aux basses eaux, par l'aplanissement et la descente régulière et quasi uniforme de cette surface libre éloignée du griffon, par suite soustraite à son influence locale. Le cas ressemble donc à celui d'aïn Ziga ou à celui d'un forage artésien. On sait d'ailleurs que, dans beaucoup de ces derniers, le débit à une altitude donnée est proportionnel à la différence entre cette altitude et le niveau piézométrique.

L'année 1909 m'a fourni, non une courbe d'épuisement de cette source, mais une courbe de montée sous l'influence des infiltrations d'hiver ainsi que la forme du maximum. Cette courbe de montée est très régulière et *très voisine d'une droite*, beaucoup plus que pour le Zaghouan. Ceci s'explique aussi par une infiltration lente et répartie quasi uniformément sur tout le massif. En effet, le Ben-Saïdan seulement mamelonné et peu saillant, plus massif et moins déchiqueté par les érosions que le Zaghouan,

mais à surface aussi décapée et perméable, est plus favorable que ce dernier à une répartition uniforme des infiltrations. Cette droite a pour équation :

$$dQ = 100 dt.$$

Dans le même temps, on avait en moyenne pour la Nymphée :

$$dQ = 222 dt.$$

La vitesse moyenne de montée du Djoukkar est donc 2,22 fois moindre que celle de la Nymphée.

Les minima annuels du Djoukkar sont en outre en retard sur ceux de la Nymphée de quinze jours (1909), et les maxima (même année) de treize jours. On peut donc admettre une *différence de phase* moyenne, entre les deux sources, de quatorze jours.

L'*infiltration totale* sur le bassin-versant du Djoukkar a pu être déterminée approximativement en donnant au graphique reconstitué un minimum en retard de quinze jours sur la Nymphée 1907 et un maximum de même forme que celui de 1909, qui, lui, a pu être construit, et en retard de même de quatorze jours. On a obtenu la montée du Djoukkar en divisant par 2,22 celle du Zaghouan. L'« aire asymptote » n'est autre ici, d'après ce qu'on a vu, que l'aire d'un rectangle. On a obtenu ainsi :

Aire complémentaire	755.000 m ³
Aire triangulaire.	156.800
Aire « asymptote » (rect.). . . .	1.660.000
Total.	2.571.800 m ³

En 1908, les évaluations de débit au voisinage du maximum furent si inexactes qu'il fut impossible de déterminer une « aire complémentaire ».

En 1909, on possède heureusement un graphique d'épuisement exact pour l'automne 1908.

J'ai même pu déterminer l'infiltration apparente de l'automne 1908 que j'ai trouvée de 534.950 mètres cubes. Les petits maximums de cette saison n'apparaissent d'ailleurs pas comme sur la Nymphée : on a un graphique presque en palier, ce qui montre que les infiltrations de cette période ont seulement servi à entretenir le débit de la source.

De février à l'été 1909, on n'a pas tenu compte d'une petite perturbation introduite par des infiltrations du mois de mai : graphique hyperbolique au-dessus de $Q = 5.000$ et rectiligne au-dessous. On a alors trouvé comme infiltrations de printemps : 1.622.700 mètres cubes.

D'où pour le total de l'année : 2.157.650 mètres cubes.

Ce dernier nombre montre donc que, contrairement à ce que tendrait à le faire croire l'examen superficiel des feuilles hebdomadaires, la *source du Djoukkar est supérieure à celle de la Nymphée de Zaghouan* qui a fourni seulement 1.907.300 mètres cubes dans le même temps.

Le bassin-versant de la source du Djoukkar, comme ceux des sources du Zaghouan ne peut pas se limiter géologiquement : il est séparé par des lignes de faite plus ou moins fixes de celui de la source aïn Ben-Saïdan et de plusieurs autres *sources souterraines* alimentant la nappe captive jurassique, telles que les pertes de cette dernière source signalées plus haut. Or, dans l'hiver 1908-1909, la hauteur totale de pluie de décembre à avril a été au pénitencier de Djoukkar de 309 millimètres. On aurait donc, en admettant l'infiltration totale :

$$S = \frac{2.157.000}{0,309} = 6,98 \text{ km}^2$$

et en admettant un coefficient d'infiltration de 0,8 voisin, mais inférieur à celui du Zaghouan :

$$S = 8,725 \text{ km}^2.$$

Si l'on admettait comme contingent visible de la source de Ben-Saïdan le nombre 200.000 mètres cubes, on aurait comme périmètre d'alimentation totale des deux sources : dans le premier cas : 7,6276 kilomètres carrés, dans le deuxième : 9,5345.

La surface totale planimétrée des affleurements des calcaires jurassiques du Ben-Saïdan est de 16,93 kilomètres carrés.

Si donc on admet comme bassin-versant total le nombre 9,53 kilomètres carrés, il reste comme surface non drainée par les sources, par suite alimentant la nappe captive, 7,40 kilomètres carrés, soit presque la moitié.

D'autre part, le Fkirine dont le point culminant et l'altitude moyenne sont supérieurs au Ben-Saïdan offre une surface de ces

calcaires de 5,43 kilomètres carrés, ne présentant que la petite source locale de la dechera de Sidi Ameur. On peut donc admettre que partout la ceinture imperméable néocomienne-éocène est au-dessus de la surface libre — laquelle, grâce au synclinal argileux de l'oued El-Assed, ne doit pas être en continuité avec celle du Ben-Saïdan. Le Fkirine intervient donc dans l'alimentation de la nappe captive pour presque toute sa surface, mettons 5,3 kilomètres carrés.

La part contributive totale de ces deux montagnes dans cette alimentation représente donc l'infiltration totale de :

$$7,40 + 5,30 = 12,70 \text{ km}^2$$

Cette part est donc *très supérieure* à celle du Zaghouan, et, comme l'altitude moyenne des affleurements jurassiques est aussi supérieure à celle de ce dernier massif, le niveau piézométrique de cette nappe provient surtout de ces deux massifs, plutôt que du Zaghouan.

Le graphique d'épuisement, ainsi que la minéralisation de la source du Djoukkar (qui incruste ses griffons), exclut l'idée qu'elle fournisse par ses pertes une partie de l'alimentation de celles du Zaghouan. Une relation hydrostatique de la partie est du massif par la Grande Faille ou des filons profonds semble plus vraisemblable, comme je l'ai dit plus haut.

VIII — La nappe captive du jurassique.

Les raisons qui m'amènent à admettre l'existence de cette nappe sont: l'absence de sources froides sur des dômes colmatés sur tout leur pourtour, et dont les noyaux de calcaires jurassiques n'offrent que de faibles traces de ruissellement jointes à une « perméabilité directe et en grand » du sol, et la présence de sources thermales dans quelques-uns de ces dômes. Les dômes secs et les dômes à « drainage incomplet » comme le Reçass, le djebel Staa du Zaghouan, le Ben-Saïdan et le Fkirine sont des centres d'alimentation *divergente* de cette nappe : les sources thermales sont au contraire des centres d'épuisement partiel *convergent*. Des dômes sous-marins, ou des aires de fracture importantes des parties sous-marines de la chaîne alpine, probablement dans des zones

de hauts fonds peuvent fournir un exutoire général. En effet, le débit total des sources thermales est certainement inférieur à la somme des pertes en profondeur de tous ces dômes.

Les *exutoires sous-marins* ne peuvent se trouver qu'à profondeur peu considérable; au delà d'une profondeur limite, ils deviendraient au contraire absorbants. En effet, supposons qu'au point C (fig. 14) de l'exutoire sous-marin, la profondeur de la mer

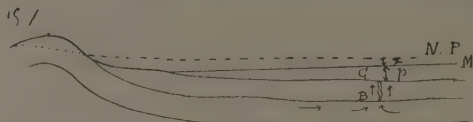


Fig. 14.

soit p et la densité de l'eau de mer d_m . La pression hydrostatique marine au point C, est alors pd_m . Soient Z le niveau piézométrique de la nappe captive rapporté au niveau de la mer, d_s la densité de l'eau thermale. Pour que l'on ait équilibre il faudrait que :

$$pd_m = (p + Z) d_s.$$

Si $pd_m < (p + Z) d_s$, le couloir du point C est jaillissant : source sous-marine. Alors $p < Z \frac{d_s}{d_m - d_s}$.

Si au contraire $p > Z \frac{d_s}{d_m - d_s}$, la nappe captive en C absorbe l'eau de mer.

Or, toutes les eaux thermales de cette région, bien que « chlorurées sodiques fortes », sont moins minéralisées que l'eau de mer, sauf toutefois celles de Korbous qui dépendent moins directement de cette nappe.

Ainsi : Hammam-Zriba offre 7,566 gr./lit. de résidu fixe ; Hammam-Djiddi, 22,105 gr./lit., c'est-à-dire encore moins que l'eau de la Méditerranée ; de plus, leur température abaisse encore leur densité. Il est vrai que, dès avant le point de contact A, elles doivent la perdre rapidement ; mais comme c'est surtout la minéralisation qui élève la densité, le sens au moins de l'inégalité doit se conserver.

Si, par exemple, on admettait le nombre rond de 1,03 comme

densité de l'eau de mer, et si l'eau de la nappe captive restait douce, l'égalité précédente donnerait :

$$p < Z \frac{1}{0,03} = 33 Z.$$

Si, par exemple, à 100 kilomètres de la côte, Z n'était plus que de 5 mètres, il faudrait que $p < 165$ mètres, ce qui peut ne pas avoir lieu en tous les points, même du socle continental, entre la Tunisie et la Sicile.

Mais en réalité, la minéralisation augmente vite avec la distance, et la *profondeur limite* serait très souvent de plusieurs milliers de mètres : on a donc plutôt des sources sous-marines qu'une absorption d'eau de mer, au moins dans le prolongement de la Dorsale.

Limites à l'ouest et « piliers triasiques ». — On sait que dans toute nappe captive, la *réaction des limites de la roche aquifère* a une importance considérable. L'effet est d'ailleurs presque le même, que cette limite soit due à une cause stratigraphique, un changement de facies des terrains, ou à une cause tectonique, contact anormal faisant buter la couche aquifère contre des terrains imperméables, limite de *nappe de charriage*, etc. En effet, une telle limite ou bien arrête la circulation jusqu'à une certaine distance, d'où résulte un palier inattendu de la « surface piézométrique », ou, surtout au voisinage d'exutoires, change brusquement la direction des filets d'eau, tout en diminuant souvent leur vitesse, d'où encore perturbation par relèvement de la surface piézométrique.

Cette perturbation s'accompagne en outre d'une augmentation de la minéralisation parfois considérable.

En outre, comme je l'ai dit dans un travail précédent, dans ces conditions, l'eau de mer « fossile » des terrains doit intervenir. C'est ce qui, outre l'existence possible de sel gemme du trias, détermine le caractère de ces eaux d'être *chlorurées sodiques fortes*.

On sait que, quelle que soit l'interprétation tectonique donnée à ce phénomène, le trias dans le nord et le centre tunisiens bute par contact anormal, ou même se trouve compris entre les terrains les plus divers, du crétacé au miocène, et est rarement en contact direct avec le jurassique. La présence de trias s'accom-

pagne en général de l'absence de ce dernier terrain; de plus, à une certaine distance dans l'ouest, on constate que le lias n'existe plus. Cette disparition a reçu de M. Haug une interprétation statigraphique; on serait là en présence des limites vers l'ouest de la mer jurassique. M. Termier, d'autre part, interprète ce fait par un charriage en masse du pays, opinion combattue d'ailleurs par MM. Blayac, Pervinquière, Gourguechon. Cependant, il n'en est pas moins vrai que les faits de dissociation des couches triasiques et de limitation à l'ouest du jurassique sont indéniables.

À l'est de la Dorsale, on ne connaît comme terrains inférieurs au crétacé que ceux des deux dômes de marbres jurassiques de Hammam-Zriba et Hammam-Djdidi, ce dernier pouvant être aptien (Cf. Bargou); on ne peut par suite assigner vers l'est aucune limite aux calcaires jurassiques. Ils doivent passer sous la plaine quaternaire du Sahel et se rejoindre en profondeur avec les affleurements signalés dans le sud, au bord de la plate-forme saharienne, par Thomas et Le Mesle. Il n'en est pas de même à l'ouest. J'indique sur le schéma de la figure 9 la limite toujours un peu hypothétique de cette extension, dans l'impossibilité où l'on est de tenir compte d'apophyses ou de piliers locaux en profondeur.

Cette limite longe d'abord la crête de la Dorsale à l'ouest du Bou-Kournine (point 292-Ternier), et du Reçass (Maison minière), puis tourne au sud-ouest, passe entre Mohamedia (schistes dissociés à facies triasique) et le djebel Aziz (du Fahs, marbres), puis à l'ouest du Bou-Kournine du Fahs, puis entre ces deux massifs et El-Aroussa (long affleurement triasique du djebel eeh-Cheid). Je ne suis d'ailleurs même pas certain si déjà le djebel er-Rihane, à l'est de cette localité, ne renfermerait pas de trias.

Au sud-ouest du Fkirine on ne peut plus suivre cette limite avec précision, par suite de l'absence, dans le nord de la *Région des plateaux*, de terrains antérieurs au crétacé; mais la présence de trias sans jurassique au Chamhi et au Cherichira, malgré les discussions encore pendantes sur sa position, et son intercalation possible dans des terrains plus récents semble indiquer l'existence d'une limite entre le Fkirine et ces deux massifs. Il pourrait même en résulter que la communication avec le jurassique du sud (Cf. rauracien [Le Mesle] et non lias et portlandien) ne fût ni facile ni directe.

Cette position des limites fait donc de la nappe captive, par suite de la surface piézométrique, un glacis irrégulier incliné vers le nord et l'est.

Les exemples déjà nombreux de forages artésiens dans des régions bien connues comme le bassin parisien, le plateau lorrain, certaines régions des prairies américaines, ont abouti à une connaissance assez précise du niveau piézométrique des nappes d'où ils proviennent. Il n'en a pas été jusqu'ici de même pour la nappe du jurassique tunisien. La première question qui se pose est de savoir si « cette nappe existe réellement ».

Si l'on appelle *nappe aquifère* toute portion de la croûte terrestre qui renferme de l'eau, cette nappe existe, car le jurassique en profondeur, comme on l'a vu, renferme de l'eau. Mais cette eau ne peut avoir de répartition ni uniforme, *ni même continue*. Cette dernière condition est toujours remplie dans les sables non argileux et dans les grès qui ne sont ni argileux ni métamorphiques : elle ne l'est pas dans les calcaires. En effet, tout massif de calcaire compact est imperméable par lui-même, de même tout massif calcaire dont les fissures sont colmatées par de l'argile. Ces massifs ne doivent leur perméabilité qu'à la dissolution de la roche par les eaux de circulation, ou à la fissuration filonienne. Ce premier processus n'affecte guère que les roches salées, gypseuses et même, en profondeur, tout au plus les roches magnésiennes, à l'exclusion presque des vraies roches calcaires, par suite de la « saturation en chaux et carbonate » des eaux des sources froides. Il est donc probable que les eaux thermales de la nappe, dont le trajet est « rapide », circulent surtout dans des conduits de cette nature, ce qui expliquerait, plutôt que leur température, leur forte teneur en acide sulfurique et chlore. Quant aux régions seulement calcaires, elles renferment des eaux, mais plutôt dans des diaclases filoniennes ou fissures étroites, analogues à celles qu'on observe dans les exploitations minières (Zaghouan, Regass) au-dessus du niveau hydrostatique, mais moins nombreuses et moins larges. Le *coefficient d'imprégnation des régions calcaires* aquifères sera donc faible, par suite le débit moyen fourni par mètre de sondage artésien sera faible ou inexistant, à moins que dans des conditions locales favorables.

Heureusement que la Dorsale tunisienne est un *district filonien très dense* en filons, sinon très riche en minerais. Il semble donc

que la première préoccupation dans la recherche de l'emplacement d'un sondage doit être de se placer dans une zone filonienne, ou si l'on ne peut s'en rendre compte directement, si, par exemple, cet emplacement ne peut se trouver que dans les alluvions, au moins au voisinage du prolongement d'une telle zone de fractures.

Profondeurs possibles de cette nappe. — Le portlandien joue, comme on sait, le même rôle que le lias (le banc rouge du col de Bourzen au Zaghouan fait partie du portlandien supérieur [tithonique]). Cette profondeur ne doit donc être comptée que jusqu'au toit de ce dernier étage, et non jusqu'au lias, ce qui la diminue en général d'une façon appréciable. Les mesures d'épaisseur sont en outre toujours difficiles, en raison des épaississements et dissociations des couches.

Je citerai notamment l'épaisseur formidable que l'on doit assigner au crétacé des environs de Tunis. C'est ainsi qu'au djebel Amar, au nord-ouest de la ville, la distance entre les marnes albiennes et la base des argiles supra-sénoniennes n'est pas inférieure à 2.500 mètres. Et il ne semble pas qu'il y ait de répétition : malgré la rareté des fossiles dans le cénomanien et le turonien, les variations lithologiques seraient suffisantes pour en indiquer au moins la possibilité, à défaut d'une preuve irréfutable. La présence du trias à l'angle nord du massif indique qu'on peut se trouver en présence d'une épaisseur *augmentée*. Mais cette épaisseur n'en reste pas moins considérable.

L'aptien-albien, lui, est moins épais. Son épaisseur au djebel Oust est voisine de 500 mètres, au Zaghouan aussi.

Mais c'est le néocomien dont l'épaisseur importe surtout, car c'est sur les affleurements de ce terrain seul que des forages artésiens pourraient donner autre chose que des eaux thermales. C'est ainsi que j'ai trouvé pour ce terrain les épaisseurs suivantes :

Au Bou-Kournine de Hammam-Lif, près du puits communal de cette ville, entre les calcaires aptiens du « Coup de Sabre », Drbat-es-Sif et les affleurements portlandiens : 318 mètres ; ici il peut y avoir un certain étirement : donc c'est une limite inférieure. Plus au sud, vers le col, j'ai trouvé 350 mètres. Sur le dôme sud du Bou-Kournine, au nord de Crêteville, cette épaisseur est plus considérable : mais là apparaît le trias.

Au djebel Oust, par suite de la régularité du dôme, il semble qu'on puisse obtenir une valeur plus exacte. L'existence des cal-

caires portlandiens à la périphérie est d'ailleurs fort nette. Si l'on construit pour les terrains du flanc est, au bord de la route de Zaghouan, l'allure locale des couches en profondeur, on arrive à une épaisseur de 650 mètres du toit de l'oxfordien au mur de l'aptien. L'épaisseur du jurassique supérieur a été évaluée plus au nord, au voisinage du point 210 et des anciennes carrières romaines. Elle a été trouvée d'environ 150 mètres, valeur voisine de celle que M. Pervinquière lui a assignée. L'épaisseur du néocomien serait donc ici de 500 mètres.

Au Zaghouan, cette épaisseur est aussi difficile à évaluer directement, par suite des étirements produits notamment par les anticlinaux secondaires, comme celui qui rapproche les calcaires aptiens du griffon de la Nymphée, signalé d'ailleurs déjà par Aubert. C'est ainsi que dans un rapport manuscrit je signalais l'existence, à près de 3 kilomètres du contour du jurassique, d'un anticlinal infracrétacé parallèle à la crête, et offrant dans la traversée de l'oued Kafïa le toit du jurassique à une profondeur de près de 410 mètres.

Piliers triasiques en profondeur. — Leur existence, sinon leur fréquence, est malheureusement hors de doute. C'est ainsi que dans la Dorsale même, des « fenêtres » (?) de trias se rencontrent : au Bou Kournine, dôme du sud, au Reçass de *part et d'autre* du massif lias-portlandien; enfin, au Zaghouan, un petit pointement offre les gypses de Sidi-el-Oujeli au sud de Sidi-Médine. Des terrains même à faciès triasique ? très contournés se rencontrent même dans la vallée du Fedj-Sach du côté du djebel Staa, avec passage au néocomien. Le Kohol offrirait aussi un petit pointement triasique à l'ouest.

On peut remarquer la position à l'ouest des massifs jurassiques de tous ces pointements. On voit donc la possibilité plus grande de les rencontrer dans l'ouest de la Dorsale, et *sur des dômes*, c'est-à-dire là où l'opération d'une recherche artésienne offrirait une valeur pratique. Cependant, si l'on évalue l'ordre de grandeur de la surface totale de tous les pointements connus entre la crête de la Dorsale et la limite indiquée (fig. 9, p. 205), que l'on fasse de même pour le jurassique, et que l'on prenne le rapport, on arrive à des nombres voisins de 2 à 4 ‰. Il semble que, jusqu'à plus ample information, telle devrait être la probabilité de rencontrer le trias.

Une circonstance moins favorable est cependant la « liaison du trias et des gîtes de calamine, reconnue en Tunisie, comme en Carinthie et en d'autres régions de la chaîne alpine qui fait que ce terrain doit se trouver de préférence au voisinage des endroits les plus fendillés, c'est-à-dire de ceux où le coefficient d'imprégnation des calcaires jurassiques aquifères serait le plus grand.

Les relations de la nappe captive jurassique, et de quatre au moins des sources thermales du Nord, ont déjà été signalées dans des travaux antérieurs (1). Je cite pour mémoire celles de Hammam-Lif; mais, avant d'aborder cette étude, je vais montrer comment une source thermale peut fournir des indications approchées sur une nappe captive dont elle provient.

Supposons d'abord une source thermale sortant d'une cassure quelconque par un couloir ascendant B C de la nappe captive

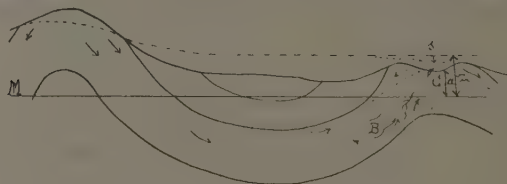


Fig. 15.

où elle effectue un trajet A B (Cf. fig. 15). Si B C se trouve dans d'autres terrains que la roche aquifère, et s'il n'y a pas d'interposition d'autre nappe, le niveau piézométrique en C est égal au niveau piézométrique que fournirait la nappe au point B si l'on empêchait toute circulation dans B C (*niveau piézométrique propre* de la nappe), — diminué du *sillon* produit dans cette nappe par le débit du couloir B C et aussi des pertes de charge dans ce couloir lui-même. Si, par exemple, le couloir B C est large, si le débit est faible et le coefficient d'imprégnation de la nappe captive assez grand ainsi d'ailleurs que sa « conductibilité », les termes soustractifs n'ont que peu d'importance, et l'altitude du griffon est une *limite inférieure* pas très éloignée du « niveau piézométrique propre » de la nappe au pied du couloir B C (Cf. fig. 15).

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 4, t. IX, p. 481, 1909.

Si au contraire, comme dans les cas suivants, la source thermique C' se trouve dans un dôme où affleure précisément la couche aquifère de la nappe captive, libre en cet endroit (fig. 15), les infiltrations au voisinage du point C refoulent l'eau thermique en profondeur, sauf dans le couloir B C, et ce, sans se mélanger avec elle. Elles contribuent seulement à augmenter la pression de l'eau thermique au griffon. Cette surpression produit donc un terme positif qui se retranche des termes négatifs provenant des pertes de charge.

Si l'on appelle a l'altitude du griffon, Z le niveau piézométrique propre à la nappe en B, s le sillon produit dans cette nappe par le débit de la source, j la perte de charge propre au couloir B C, ΔZ la surpression résultant des infiltrations aux affleurements, on sait que l'on a la relation (en négligeant $\frac{v^2}{2g}$):

$$a + s + j = Z + \Delta Z$$

ou :

$$Z = a + s + j - \Delta Z.$$

La *surpression* ΔZ varie dans le même sens que l'infiltration totale annuelle, et que l'inverse du coefficient d'imprégnation de la roche aquifère. Si cette *surpression* est suffisante, elle peut produire une circulation des eaux douces supérieures en sens inverse de l'eau thermique jusqu'à une *zone de mélange* où elles ont acquis une densité voisine de l'eau thermique. Exemple : la saturation de l'eau douce dans les nappes salées, ou l'exploitation du sel gemme par dissolution. C'est aussi de cette manière qu'on peut expliquer les mécomptes produits par l'injection d'eau douce au voisinage de certains griffons hydrothermaux.

Dans bien des cas, cette surpression est assez forte pour produire des *sources froides* à la périphérie du noyau du dôme. Si alors on appelle s' la dépression ou sillon d'épuisement résultant de ces sources (en général $s' < s$) et que les griffons de ces sources ne soient pas plus bas que l'eau thermique, on a alors :

$$Z + \Delta Z - s' \geq a.$$

D'ailleurs, on démontrerait comme plus haut (dans l'étude de la « réaction marine ») que, pour qu'il y ait équilibre entre l'eau douce et l'eau thermique en général plus dense, il faut que les

griffons des sources froides soient plus haut que celui de l'eau thermale.

Si au contraire on n'a aucune source à la périphérie, c'est que

$$Z - s' + \Delta Z < a$$

s' est alors un sillon d'épuisement par écoulement latéral souterrain des eaux froides qui peut avoir lieu soit dans des dislocations, soit même dans les parties hautes de la nappe captive, en contact avec le toit.

Le simple examen géologique ne peut malheureusement pas fournir d'autre équation. On en aurait une intéressante et simple si l'on pouvait encaisser la source thermale et mesurer sa hauteur maximum d'ascension. Il faudrait alors être sûr d'en avoir fait un captage total et étanche, alors on aurait :

$$Z_i + \Delta Z_i = a_i \quad \text{d'où} \quad s + j.$$

La connaissance de s pourrait ainsi se déduire de la détermination par quelques puits ou forages de la surface libre des eaux douces.

Mais, en général, dans ces problèmes d'hydrologie souterraine, on a plus d'inconnues que d'équations.

Dans le cas de débits assez faibles comme ceux de Hammam-Zriba et surtout Hammam-Djidi intermittente, on peut admettre que s est de l'ordre de quelques mètres, 4 ou 5 (?) peut-être (exemple : expériences de pompage dans des nappes analogues). Dans des calcaires fissurés comme ceux du jurassique ou de l'aptien supérieur, les dépressions ne s'atténuent pas très vite avec la distance. Or, les marbres de Hammam-Zriba s'étendent latéralement à près de 500 mètres de la source ; par suite, étant données les faibles pentes des surfaces libres dans ces terrains surtout au voisinage des maximums et dans des massifs aussi peu saillants au point de vue topographique que celui de cette source, on peut admettre aussi pour s' une valeur de quelques mètres : moins de 10, peut-être 2 ou 3. Donc :

$$\begin{aligned} Z + \Delta Z &< a + 2 \text{ ou } 3 \text{ m,} \\ Z + \Delta Z &= a + j + 4 \text{ ou } 5 \text{ m.} \end{aligned}$$

Or, les affleurements offrent des coefficients d'imprégnation

assez considérables, et les dômes de Hammam-Zriba et Hammam-Djdidid sont soumis au ruissellement. ΔZ n'est donc pas non plus très considérable, à peine quelques dizaines de mètres dans tous les cas de l'ordre de $s + j$.

Si donc on posait comme première approximation :

$$s + j - \Delta Z = 0,$$

on en déduirait, à plusieurs mètres près : $Z = a$.

On peut donc, à condition de prendre ce résultat comme une limite supérieure, prendre comme *niveau piézométrique propre* de la nappe captive au droit d'une source thermique, quand le dôme d'où elle sort est exigu et bas, l'altitude même du griffon. On peut aussi tenir compte de la *surpression* ΔZ elle-même, quand la nappe captive est une nappe à alimentation divergente par quelques dômes séparés par de larges espaces sans infiltration, en prenant pour la pression du point B au droit du dôme considéré la formule relative aux parties libres profondes de la nappe et en donnant au dôme local un poids proportionnel à la surface du noyau et au coefficient moyen d'infiltration annuelle. Je compte revenir sur cette question dans un travail ultérieur ; ici je cite seulement un mode de raisonnement qui m'a conduit à des résultats assez concordants, et à la quasi-certitude d'un jaillissement en certains points ; mais auparavant j'examinerai un peu ces sources en elles-mêmes.

Hammam-Zriba, au pied sud-est du Zaghouan, sort d'une cassure en bas du djebel Kroub, massif de calcaires marmoréens blancs formant un dôme faillé dont le djebel Zriba, glacis assez régulier d'éocène supérieur gréseux, constitue la retombée sud-est. La distance en ligne droite avec le Zaghouan (par la Faille) est seulement de 6.500 mètres. La température de 50° lui assigne une profondeur de siphonnement de près de 1.000 mètres. Le rejet de la Faille, si vraiment faille il y a, est bien d'environ 1.500 mètres (Rolland, Pervinquière). Il semble donc improbable que la communication ait lieu directement par cette faille. Au contraire, 1.000 mètres correspondraient à des affleurements de cénomanien. Or c'est ce terrain qui forme au nord-ouest la zone externe du dôme du Zaghouan, le long de la conduite du Djoukkar (djebel Djebelline). Dans l'ouest et le nord de Moghrane, ces affleurements disparaissent sous les alluvions, mais

ils n'en n'existent pas moins avec des pendages de même sens entre Zaghouan ville et Djimla. Et même, sur le prolongement de l'axe anticlinal central du Zaghouan (bombement du nouveau cimetière européen), ils se rapprochent beaucoup du pied de la montagne. On peut donc assigner aux eaux de la source thermale l'origine suivante : des pertes de la Nymphée et d'Ayed, s'il y en a, et, dans tous les cas, des eaux du petit massif d'aïn Haroun (n° 1) et du compartiment de la Faille descendent vers le nord, probablement pas loin de cette « faille », puis trouvent un couloir, ou plutôt une région, où le prolongement souterrain des marbres du djebel Kroub est appliqué contre les calcaires aquifères du Zaghouan. Cette région serait alors sous le prolongement probable des affleurements cénomaniens. La continuité hydrologique peut d'ailleurs être établie aussi par des couloirs de gypses triasiques(?) voisins de la faille, ce que tendrait à indiquer la composition chimique des eaux.

Le débit en décembre 1909 atteignait 9'918 par seconde, soit 857 m³/j; ce chiffre, pour une source thermale, est donc déjà considérable et de l'ordre du dixième des sources du Zaghouan au même moment. D'autre part, si le mois de décembre est d'ordinaire une période de basses eaux pour les sources froides, il n'en est pas de même des sources thermales. Le débit de Hammam-Zriba est, paraît-il, périodique. Il dépend de deux données principales : le niveau piézométrique Z et la surpression ΔZ , soit de deux quantités presque périodiques, annuelles, mais qui présentent entre elles une différence de phase assez grande. La surpression doit à peu près coïncider avec les hautes eaux, c'est-à-dire, à quelques jours près, avec les maximums annuels de la Nymphée. Quant au niveau piézométrique propre de la nappe captive, Z ; il est en retard *au moins de plusieurs mois*. On peut apprécier l'ordre de grandeur au moins de ce retard, de la manière suivante :

Entre deux sources du jurassique presque égales comme débit moyen : celle du Djoukkar qui sort à 500 mètres à peu près des affleurements de roche aquifère, et celle de la Nymphée qui sort à la limite même de ces affleurements, il existe une différence de phase de quatorze jours. Or, le parcours souterrain de Hammam-Zriba, si, comme il est probable, elle vient du Zaghouan, est de près de 9.000 mètres. Si donc la vitesse de transmission

de la vague annuelle était constante et la même pour les deux sources, le temps d'arrivée serait de huit à neuf mois? Je ne donne ce calcul que pour ce qu'il vaut, mais il semble indiquer l'ordre de grandeur du temps nécessaire à une perturbation pour se transmettre. Je crois devoir en outre signaler, à cette occasion, l'intérêt que présenterait la possession de jaugeages de Hammam-Zriba exécutés à des époques différentes d'une même année.

Dans tous les cas, le débit de 857 m³/j, dont 716 pour le Hamman seul, ne peut pas être considéré comme un minimum. Si l'on suppose que c'est le débit moyen, il correspondrait au contingent annuel de 312.805 mètres cubes. Si l'on admettait sa provenance du Zaghouan où les pluies d'hiver ont donné une hauteur d'eau de 0,278 mètre, il correspondrait au drainage total d'une surface de 1,14 kilomètre carré, et, avec un coefficient d'infiltration de 0,86, à une surface de 1,33 kilomètre carré.

D'autre part, aïn Haroun n'a donné que 0,535 l/s. Or, son griffon est encore plus bas que celui d'aïn Ayed : elle est à l'extrémité inférieure de la nappe libre du Zaghouan ; sa position est comparable à celle d'aïn Ayed, source à seuil élevé, ne recevant pas d'infiltrations rapprochées. Si donc on lui supposait un débit moyen de 2 l/s, on serait probablement au-dessus de la vérité, car, d'après son périmètre d'alimentation (largeur de la nappe), elle semble avoir un coefficient de tarissement voisin de celui de la Nymphée. Pour 1 l/s on aurait un périmètre de 0,12 kilomètre carré et 0,15 dans le second ; pour 2 litres, on aurait 0,24 et 0,30 kilomètre carré, soit toujours une *surface inférieure* à 0,5132 kilomètre carré que j'ai trouvée (p. 221) comme aire totale du « massif d'aïn Haroun ».

On a donc pour Hammam-Zriba et aïn Haroun un bassin-versant de : $1,14 + 0,12 = 1,26$ kilomètre carré au minimum et : $1,33 + 0,30 = 1,63$ kilomètre carré au maximum. Or, le versant total de la Faille a une surface de 2,4075 kilomètres carrés dont il faudrait aussi déduire les bassins-versants des sources de la Faille. Ces sources, dont on ne connaît pas les maximums, ont des débits de l'ordre de celui d'aïn Haroun seulement ; de plus, sauf aïn Zguer au milieu, elles n'intéressent guère que la moitié sud-ouest du compartiment de la Faille. La moitié nord de ce compartiment représente 1,2 kilomètre carré environ, ce qui fait, avec le « massif d'aïn Haroun », 1,71 kilomètre carré. Cette

surface est fort peu supérieure au nombre 1,63 trouvé comme bassin-versant des deux sources.

Il en résulte que si toutes les eaux de ces deux compartiments ne vont pas soit à aïn Haroun soit au Hammam, il s'en perd fort peu dans d'autres portions de la nappe captive. D'autre part, si la source thermique ne reçoit pas d'eaux directement du Ben-Saïdan, qui, elles, auraient une température bien supérieure à 50°, elle en subit cependant l'influence par contre-coup, par des parties profondes de la Faille. C'est probablement cette influence qui amène ces eaux à faire le tour par le nord, au lieu de prendre un chemin plus direct.

Une vérification directe de ce fait serait d'ailleurs fort difficile. L'emploi de la fluorescéine est contre-indiqué par suite de la teneur en acide sulfurique de l'eau thermique incompatible avec la conservation de la fluorescence. Celui de sels de lithium avec l'analyse spectrale, si précieux quand ce métal n'existe pas dans les eaux (exemple dans le Karst), ne semble guère non plus s'appliquer. La plupart des eaux thermales en contiennent : exemple toutes celles de Korbous, les seules dont j'ai des analyses complètes : plusieurs leur doivent même leurs propriétés curatives ; il serait étonnant qu'Hammam-Zriba fit exception à la règle. Peut-être un déversement très copieux d'azotite de soude (dosage facile et sensible par l'iodure de zinc) serait-il indiqué pendant les pluies d'hiver ; mais il faudrait probablement employer des quantités considérables de ce sel.

Une analyse chimique partielle de cette source faite par le service des Mines de la Régence, et que je dois à l'obligeance de M. l'ingénieur de l'arrondissement de Tunis ville, comporte :

Insoluble 7,560 grammes, chaux 1,060, acide sulfurique 1,647, magnésie 0,249, chlore 1,920 gramme.

Ce qui est remarquable, c'est la teneur en chlore et en acide sulfurique (eau saturée en sulfate de chaux).

Le trajet souterrain atteint près de 9 kilomètres seulement, d'autre part les sources froides sont bien moins riches en ces corps. Il semble donc qu'il y ait là, d'abord l'influence de « l'eau de mer » fossile du jurassique, et peut-être surtout celle du voisinage de piliers de trias profonds.

La cote du griffon de Hammam-Zriba est, d'après les cartes au 1/50000°, d'environ 170 mètres. Il y a donc plus de 100 mètres

de dénivellation avec aïn Ayed. D'après la discussion précédente, il semble qu'avec un tel débit, le niveau piézométrique propre à la nappe captive soit supérieur à la cote du griffon de la source, par suite.

Dans la région d'alimentation de Hammam-Zriba, un parcours de 9 kilomètres des filets d'eau dans la nappe captive abaisse le niveau piézométrique de 100 mètres *au plus*.

Hammam-Djdidi (deux sources) sort beaucoup plus à l'est des calcaires blancs submarmoréens du djebel Kroun, considérés comme liasiques par Aubert. Il semble que leur âge soit plus récent, malgré l'absence de fossiles. La température que j'ai prise de l'une des sources, en 1908, atteignait 70°, ce qui correspond à une profondeur de siphonnement de 1.500 mètres, soit la profondeur probable du jurassique sous les affleurements de l'éocène supérieur gréseux que l'on rencontre dans toutes les directions entre la Dorsale et la source. C'est donc sa température plutôt que l'âge des calcaires du djebel Kroun qui lui assigne une origine jurassique.

L'une de ces sources a un débit non seulement variable, mais *intermittent* tous les deux ou trois mois. Au moment de la reprise du jaillissement, on constate dans l'eau l'apparition de boues. Il semble donc que la source doit s'élever dans des terrains plus récents contenant de l'argile, avant d'apparaître. Il en résulte que la somme $Z + \Delta Z$ du niveau piézométrique et de la surpression est très voisine de la cote du griffon, bien que cependant toujours supérieure.

Lorsque j'ai visité Hammam-Djdidi, en mars 1908, le débit des deux sources était assez considérable, peut-être 6 l/s; par contre, en décembre 1909, la source intermittente (Hammam Sidi-Abdel-Kader) ne fournissait plus que 0,833 l/s et l'autre (Hammam-Lalla-Khedidja), 1,357, total 189 m³/j.

Si on considère l'ensemble des deux sources, il peut donc présenter une variation de débit comme de 6 à 2,490 l/s *au moins*, soit certainement *comme de 1 à 3*.

Cette variabilité de débit avec maximums aux hautes eaux et minimums vers l'étiage des sources froides atteste d'abord l'influence des infiltrations locales; en effet l'oued qui passe entre les deux captages est parfois assez abondant, mais il semble que son influence ne suffise pas à expliquer une pareille variation, et

que l'on doit faire intervenir la variation annuelle du niveau piézométrique propre lui-même. Il y aurait alors peut-être trois vagues affectant le débit de la source : une première vague de surpression (ΔZ), en janvier, résultant des infiltrations du maximum de pluie de décembre ; une deuxième, la plus forte, provenant du maximum de mars ou avril ; enfin une troisième, provenant de la variation du niveau piézométrique propre. D'autre part, cette troisième vague peut n'être pas simple et résulter de la superposition d'ondes provenant de plusieurs dômes à des distances différentes : Reçass, Zaghouan, Ben-Saïdan. C'est ce qui pourrait expliquer peut-être la disparition à périodes variables de aïn Sidi-Abd-el-Kader(?).

Dans tous les cas, ces phénomènes semblent d'abord exclure pour cette source toute origine volcanique : on est bien en présence d'une source thermale sédimentaire exutoire d'une nappe captive ; de plus, la roche aquifère de cette nappe présente une conductibilité (K) assez grande pour un coefficient d'imprégnation (μ) assez faible, comme cela a lieu dans des roches compactes traversées de filons, avec peut-être des régions cavernueuses.

L'analyse chimique faite en même temps que celle de Hammam-Zriba comporte :

Résidu fixe 22,105 grammes, chaux 1,180 gramme, acide sulfurique 1,395 gramme, magnésie 0,190 gramme, chlore 9,550 grammes.

On voit, en comparant cette eau avec celle de Hammam-Zriba, qu'elle renferme moins de magnésie et d'*acide sulfurique*, mais un peu plus de chaux et beaucoup plus de chlore. C'est la seule différence notable entre les deux sources. Il semble donc en résulter le fait suivant : Hammam-Djdid ne vient pas du même couloir qu'Hammam-Zriba, mais résulte d'eaux du jurassique ayant *circulé plutôt dans les calcaires que dans les gypses*, et sa forte teneur en chlore vient de son parcours beaucoup plus long et à température plus élevée (au moins 30 kilomètres à partir de chaque dôme).

L'altitude des griffons est voisine de 90 mètres. La longueur qu'auraient des filets d'eau allant du Zaghouan à la source serait d'environ 30 kilomètres et du Ben-Saïdan (partie est) et du Reçass, d'environ 40 kilomètres. On peut donc admettre, si l'on

prend comme « niveau piézométrique » propre à la nappe le griffon des sources, qu'un parcours de 40 kilomètres, dans la nappe, abaisse le niveau piézométrique de $400 - 90 = 310$ mètres (400 au Ben-Saïdan sans sources latérales [?] — ou, avec le Zaghouan mieux connu (région d'Aïn-Ayed et d'Aïn-Haroun), qu'un parcours de 30 kilomètres l'abaisse de 190 mètres (?) — et qu'un parcours supplémentaire à partir de Hammam-Zriba pour des filets venant du Zaghouan abaisse ce niveau de 90 mètres. — La première hypothèse semble plus plausible, par suite des pertes bien plus considérables du Ben-Saïdan. Il semble certain que, par suite du colmatage à l'ouest du jurassique par sa limitation en profondeur, des eaux du Ben-Saïdan, descendues vers le nord dans la région de la Dechera, s'écouleraient vers les exutoires de l'est, par exemple sous le col du Khranguet-el-Kraroub.

Comme on l'a vu, d'autres renseignements sur cette nappe sont en outre offerts par le djebel Oust. La source thermique « sans débit » y monte jusqu'à une hauteur égale à la somme du niveau piézométrique propre à la nappe Z et de la surpression ΔZ . Si l'on admet alors que ce soit à la cote 150, on a :

$$Z + \Delta Z = 150.$$

C'est en partant de ces données, et en supposant une loi de décroissance hyperbolique du niveau piézométrique en fonction des distances, que j'avais montré la possibilité sinon la quasi-certitude du jaillissement d'un forage exécuté au point de rencontre de l'oued Kafia, ravin du Zaghouan, avec l'axe de l'anticlinal secondaire infracrétacé de l'ouest. Profondeur probable : de 420 à 450 mètres jusqu'au jurassique ; niveaux piézométriques probables : 230 mètres dans le cas le moins favorable, 247 dans le plus favorable ; limite inférieure : 226. Cote d'orifice voisine de 210. Le succès de l'opération serait toutefois subordonné à la rencontre des calcaires jurassiques et non du trias et au recoupement de fissures aquifères.

On verrait en outre que sur le pourtour du Zaghouan, seuls les fonds de ravin à faible altitude, à leur traversée de l'axe anticlinal précité, pourraient fournir des eaux jaillissantes et à profondeur non excessive.

Dans la plaine de Moghrane et la cuvette de Smindja, on aurait

aussi des eaux jaillissantes, mais à des profondeurs d'au moins 1.000 mètres, par suite, des eaux thermales. Elles seraient en outre très minéralisées par suite de l'éloignement des centres d'alimentation et du faible coefficient d'imprégnation de la roche aquifère.

Dans le cas où l'on essaierait un calcul approché de niveau piézométrique, on pourrait le considérer, assez loin des dômes toutefois, comme le potentiel en un point d'un conducteur à deux dimensions, alimenté en des points figurant les centres des dômes, avec, comme potentiel en ces points, le niveau moyen de la surface libre, et, comme intensité, le produit de l'aire de l'affleurement du noyau perméable par la hauteur de l'infiltration moyenne annuelle. Les sources thermales serviraient à déterminer la constante $m = \frac{\mu}{K}$ relative à la nappe captive.

Si l'on appelle « masse » d'un centre d'alimentation le produit de l'aire du noyau perméable par la hauteur d'infiltration annuelle, — ou par le produit de la chute annuelle de pluie ϖ par le coefficient moyen d'infiltration, on pourra admettre, sauf déterminations plus précises, les valeurs relatives suivantes, que je simplifie encore en prenant pour unité la pluie annuelle, sensiblement constante dans toute la région considérée :

Pour le *Bou-Kournine de Hammam-Lif* : 3 kilomètres carrés. $i = 0,4$, soit : 1,2 ;

Pour le *Reçass* : 2,45 kilomètres carrés. $i = 0,6$, soit : 1,47 ; mais à cause de la source de la Laverie, mettons : 1,2 (Cf. Bou-Kournine) ;

Pour le *djebel Oust* : 5,12 kilomètres carrés. $i = 0,5$, soit : 2,56 ;

Pour les massifs du *Fahs* :

Djebel Ben-Klab (?) 2,5 kilomètres carrés. $i = 0,4$ (faible pluviosité de la plaine du Fahs), soit : 1,0 ;

Djebel Rouass : 0,6 kilomètre carré (?) $i = 0,5$, soit : 0,3 ;

Bou-Kournine du Fahs : 0,7 kilomètre carré. $i = 0,5$, soit : 0,35.

Total pour les massifs du Fahs : 1,65.

Pour le *Zaghouan* : on peut en admettre la *surface utile* comme réduite par les sources froides et l'alimentation de Hammam-Zriba. Soit donc à peu près les surfaces suivantes, reste du com-

partiment sud-est : 1 kilomètre carré, pointement dans le Fedj-Sach, 0,21 ; djebel Staa, 4,12 ; total : 5,33 kilomètres carrés. $i=0,6$ mesuré, donc : $5,33 \times 0,6 = 3,198$, mettons 3,2.

Dans la *chaîne du Zaghouan*, on ne rencontre comme jurassique que les petits dômes du *Kohol* et du *Kef-el-Aziz*. Ils présentent une surface de 0,3 (?) pour le Kohol et 0,5 pour l'Aziz, soit pour les deux : 0,8. $i=0,6$; d'où : 0,48 ;

Pour le *Ben-Saïdan*, on a (p. 246) une surface utile de 7,4 kilomètres carrés. $i=0,6$, par suite 4,44. C'est donc la plus grande « masse » de toute la Dorsale ;

Pour le *Fkirine*, on a : 5,3 kilomètres carrés. $i=0,6$, d'où 3,18. C'est donc aussi une « masse » considérable, égale à celle du Zaghouan.

Les affleurements marbroïdes de Hammam-Zriba, et surtout de Hammam-Djdidi, ne peuvent guère être comptés comme jurassiques, au moins avec certitude : ils doivent d'ailleurs, au moins le premier, n'avoir qu'une « masse » petite, abrités qu'ils sont contre les vents du nord et du nord-ouest par la Dorsale elle-même.

L'affleurement de Hammam-Zriba donnerait :

$S=0,5$ kilomètre carré (?) (contour non suivi pas à pas) ;

$i=0,5$, soit : 0,25 à peine.

On peut, en partant de ces données, évaluer la quantité d'eau approximative déversée dans la nappe captive pendant une année. C'est le produit de la chute de pluie moyenne par la somme de toutes ces « masses », c'est-à-dire :

$$\varpi(\Sigma m) = 17,68 \varpi 10^6 m^3$$

car

$$\Sigma m = 17,68$$

La valeur de ϖ n'est pas connue avec précision. Si on admet celle de 0,5 mètre, vraisemblable par suite de la saillie assez forte de tous ces dômes et de la position de la Dorsale entre les courbes de 600 et de 400 millimètres de pluie annuelle, on arrive au contingent de :

$$A = 0,5 \times 17,68 \quad 10^6 = 8.840.000 m^3/\text{ann.}$$

Cette quantité correspondrait donc à un débit moyen de 24.210 mètres cubes par jour, ou, en chiffres ronds, 24.000 mètres cubes.

Si donc on admet comme débit moyen de la Nymphée, 7.000, d'Ayed 2.100, du Djoukkar-Ben-Saïdan, 7.400, de Sidi-Ameur, 100, des sources de la Faille, 500, des sources du Reçass (?) 500 (?), on a pour les sources froides un total de 17.600 mètres cubes.

On voit donc que le volume d'eau descendu en profondeur est *supérieur à celui qui s'écoule par les sources froides*.

Si l'on ajoute 1.500 mètres cubes pour les sources thermales de H.-Lif, H.-Zriba et H.-Djidi (sans compter Korbous qui peut avoir une autre origine), on arrive à 19.100 mètres cubes revenus au jour sous forme d'eau froide ou thermale, et à 22.700 perdus en profondeur.

Si l'on tient compte en outre de ruissellements possibles, notamment sur le Bou-Kournine, le djebel Oust et le Fkirine, on voit qu'il semble se perdre en profondeur un volume égal à peu près, sinon supérieur, au contingent total des sources froides.

IX — Le Bargou et ses annexes

L'étude tectonique et hydrologique complète de ce massif sortirait du cadre que je me suis fixé.

Au reste, la première a déjà été faite dans ses grandes lignes par M. Pervinquière, et la seconde a déjà été abordée en partie, notamment dans le *Rapport* publié en 1905 par la Direction générale des travaux publics et dans quelques-uns de mes travaux antérieurs.

Je n'indique ici que les données indispensables pour montrer le caractère des venues étudiées plus loin.

Le *synclinal de l'oued el-Kébir* (oued Miliane supérieur) est une cuvette allongée, à fond occupé par les marnes de l'éocène moyen et à bords formés par l'éocène inférieur calcaire (facies à globigérines), puis les marnes supra-sénoniennes (niveau phosphaté au nord-ouest du Bargou), et enfin les calcaires sénoniens et turoniens qui forment les crêtes en bordure.

Ces calcaires ne me semblent pas devoir fournir beaucoup d'eaux, par suite du peu d'épaisseur relative des couches trop bien stratifiées, et de la densité assez grande de la forêt de pins d'Alep qu'ils portent (forêts de Sidi-Saïd et du Djebel-Mansour). Néanmoins des forages artésiens semblent indiqués dans cette

vallée, vu leur coût assez réduit et leur complète innocuité vis-à-vis des captages existants.

Le graphique annuel de débit de chacun d'eux, supposé non muni de régulateur, ressemblerait à celui d'aïn Ziga cité plus haut : montée lente et droite en période de crue, descente rectiligne en épuisement, avec inclinaisons moindres par suite du volume plus grand du réservoir interne.

L'alimentation de cette nappe est possible au moyen des excédents de débit du tunnel de Bou-Tiss. Cette expérience faite au préalable et suivie avec soin offrirait même un intérêt considérable en permettant d'apprécier la perméabilité des calcaires éocènes et sénoniens.

Le Tunnel de Bou-Tiss, qui amène les eaux des sources du Bargou dans la vallée de l'oued Miliane, traverse le flanc nord-ouest du dôme du Bargou vers son extrémité nord-est. J'en ai

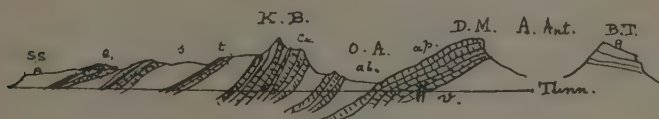


Fig. 16.

donné, en 1908, au moyen de levés directs sur le terrain comparés avec des rapports des surveillants, la coupe ci-dessus (fig. 16).

D'après cette coupe, il débute au nord-ouest dans l'éocène moyen de Sidi-Saïd, coupe en profondeur les marnes sénoniennes (quelques poches goudroneuses et dégagement de grisou), puis le cénomanién de la Kouadiat-Béchouk et l'aptien supérieur du Mesmote pour déboucher dans les marnes schisteuses et gréseuses de l'aptien inférieur en dessous et à l'ouest de la Dechera de Bou-Tiss, vers le passage de l'axe anticlinal.

Pendant l'exécution du tunnel, chaque assise de calcaire a fourni un peu d'eau — presque pas et minéralisée dans le crétacé supérieur sous la forêt de Sidi-Saïd — mais la crête stérile, dénudée et déchiquetée d'urgo-aptien du djebel Mesmote a fourni une venue importante qui a été par la suite recueillie dans une bêche et amenée dans la canalisation.

La venue captée du tunnel de Bou-Tiss ne peut être jaugée directement : son débit se détermine comme différence des débits

de sortie et d'entrée; il est donc affecté d'un terme positif provenant d'autres infiltrations toujours possibles et d'un terme négatif provenant de pertes.

La portion de graphique qu'on peut reconstituer est relative à l'hiver 1908-1909. Elle n'offre pas de branche d'épuisement étendue.

C'est ainsi que, le 9 octobre 1908, on avait 544 mètres cubes; ensuite, aucune mesure. Le 25 décembre, 720 mètres cubes (augmentation par les pluies du 17 au 21). Intervalle de temps entre le maximum et le centre de la pluie: 17,5, mettons 18 jours. Donc ici infiltration, entraînement de pluies de saturation, fonte de neiges et non influence de l'oued Aliliga (fig. 16).

En janvier, maximum: 850 mètres cubes, puis baisse rapide jusqu'à un minimum de 565; maximum, 6,5 jours après le centre de la pluie. Donc ici plutôt influence de l'oued.

Les pluies des 27 et 28 janvier ont produit une montée 2,5 jours après le centre, et un maximum 8 jours après. Celles des 10 et 11 février ont déterminé la montée 2 à 4 jours après. Celles du 19, un maximum 8 jours après. Les pluies copieuses des 21 et 22 mars ont eu une influence presque immédiate: le débit est monté de 630 mètres cubes le 18 à 847 le 23.

Cette venue offre donc un caractère tout différent de celles que nous avons vues jusqu'ici. Le débit se compose d'une somme de deux termes: un terme peu variable, constituant les débits d'étiage et correspondant à une source *souterraine* à faible coefficient de tarissement d'un débit moyen voisin peut-être de 400 à 500 mètres cubes, et un deuxième terme très variable, correspondant à l'arrivée inconstante et tarissante des eaux de l'oued. Les saillies, assez émoussées d'ailleurs, de ce graphique proviennent, sinon d'infiltrations directes (une expérience à la fluorescéine le montrerait), au moins de la surpression momentanée produite par les pertes de l'oued Aliliga quand il renferme de l'eau.

Cette influence n'est ni instantanée ni immédiate comme celle de l'oued Bargou sur la source de Bou-Saadia, mais se produit avec un retard de plusieurs jours.

Les sources du Bargou sont très nombreuses. L'étude hydrologique complète de ce massif constitue un problème fort complexe d'hydraulique. Si l'on en excepte les sources périphériques qui, comme aïn Mzata, sont des sources de versants et presque

de vraies sources de niveaux d'eau, et, comme aïn Lemsa, sortent à la manière de celles du Zaghouan, on pourrait considérer ce problème comme « l'étude des vicissitudes de l'oued Bargou ».

Deux sources étaient captées pour Tunis dès l'année 1905 : aïn Bou-Saadia et aïn Faouar, toutes deux sources de thalweg. Aujourd'hui les captages peuvent se répartir en trois groupes : 1° le groupe de Bou-Saadia à l'amont ; 2° le groupe d'aïn Faouar ; 3° le groupe des venues inférieures de l'oued Bargou. Le premier seul, était, pendant mon séjour, muni d'appareils de mesure de débit.

Toutes ces sources sont des sources de thalweg de l'aptien supérieur calcaire (urgo-aptien) provenant de la roche en place et mélangées en même temps avec des résurgences de l'oued Bargou.

Des essais à la fluorescéine, effectués en 1907 par M. Clidat conducteur des ponts et chaussées, ont prouvé la communication directe de Bou-Saadia avec Faouar, soupçonnée et même déjà admise auparavant. Des nivellements de séries de petits sondages dans les éboulis ont montré qu'une partie des venues inférieures (n° 3) provenaient encore de Faouar.

En dehors de ces constatations directes, l'examen stratigraphique et tectonique des abords des sources et de la vallée de l'oued Bargou leur donne une vraisemblance équivalente à une certitude.

Le massif du Bargou est constitué par un grand dôme double, offrant au nord-ouest le Bargou proprement dit, portant le point culminant du massif, et au sud-est l'anticlinal du djebel Guel-taoui. Entre les deux s'étend la gouttière synclinale de l'oued Bargou. Cette vallée traverse tout le massif et au sud-ouest, au pied du djebel Serdj, le dôme suivant, aboutit à une plaine marno-gréseuse ou alluviale, quasi imperméable, où se trouve la maison forestière de Soudga. Cette gouttière synclinale présente des ridements transversaux d'où résultent des érosions inégales pour les bancs aptiens.

En outre, le thalweg topographique ne coïncide qu'en quelques points avec le thalweg tectonique. Il en résulte que le cours d'eau aérien est creusé tantôt dans les schistes gréseux presque imperméables de l'aptien inférieur, tantôt dans les calcaires compacts et marbroïdes mais fissurés de l'aptien supérieur. Il

en résulte une série de « rectifications » du cours produisant des pertes suivies de résurgence.

Les premières pertes ont lieu à l'amont de Bou-Saadia.

La source aïn Bou-Saadia, captée pour Tunis, sort à vers-pendage de bancs d'urgo-aptien abaissés par la gouttière synclinale médiane, jusqu'au thalweg de l'oued Bargou avec un pendage sud-ouest de 0,17, sur la remontée nord-est d'un synclinal transversal secondaire. Les pertes de l'oued, révélées par des jaugeages rapprochés, commencent à quelques hectomètres à l'aval. A cet endroit, le pendage général des bancs est dirigé vers l'ouest; les deux « kefs » à l'amont résultent du passage de l'anticlinal transversal faisant suite au nord-est au synclinal de Bou-Saadia. Cet anticlinal correspond en outre à un élargissement notable du fond de la vallée, par suite de l'apparition des bancs tendres et à faible talus d'éboulement de l'aptien inférieur.

La source aïn Faouar se trouve en plein sur la retombée nord de cet anticlinal, laquelle ramène les calcaires urgo-aptiens au fond de la vallée. Cette retombée nord forme un petit cirque de calcaires dont le fond présente un *paquet de calcaires abaissés* coupé par une faille prolongeant sensiblement la direction moyenne de la gorge de Bou-Saadia. La direction moyenne des couches, à cet endroit, est ouest-est 35° sud, pendages 0,40. C'est par les fissures de ce lambeau calcaire, offrant une conductibilité comparable, sinon supérieure, à celle du lit aérien tortueux, que s'établit la communication de débit entre Bou-Saadia et Faouar.

A 200 ou 300 mètres à l'aval de Faouar, suivant le thalweg de l'oued, on constate encore une venue d'eau d'environ 10 l/s (jaugeage Clidat). Elle sort d'un paquet de calcaires de la rive sud-est forçant le cours d'eau souterrain à un détour, et limité au sud par une faille. Les détails tectoniques de ce point assez compliqué sortiraient du cadre de ce travail : cet accident résulte



Fig. 17.

du passage de la gouttière synclinale de l'oued affectant la retombée nord de l'anticlinal dans une région encore plus externe.

Les principales données tectoniques résultent des figures suivantes : la figure 17 coupe le long du thalweg topographique,

abstraction faite des méandres, la figure 18, coupe transversale à 500 mètres à l'amont de Faouar, montre l'urgo-aptien des sommets du Bargou s'inclinant au sud-est vers la vallée, coupés sur le flanc par des érosions dégageant l'aptien inférieur marno-gréseux, puis reparaissant en lambeaux vers le thalweg



Fig. 18.

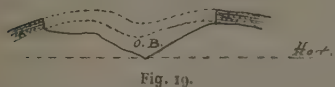


Fig. 19.

au fond de la gouttière synclinale, puis remontant au sud-est et de nouveau érodés se raccordent avec ceux du sommet du djebel Gueltaoui à pendage faible sud-est. La figure 19, quelques hectomètres à l'aval, montre la même disposition avec le lambeau de calcaire du fond en moins. La figure 20, coupe passant



Fig. 20.

par Faouar, indique la réapparition de l'urgo-aptien avec plus grand développement dans le fond de la vallée. La figure 21, coupe à l'aval de Faouar, passe par les dernières venues d'eau citées plus haut (groupe n° 3) et la dechera El-Rhar.

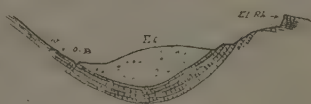


Fig. 21.

Ces coupes montrent en outre que le thalweg tectonique ne coïncide presque jamais avec le thalweg topographique. A Bou-Saadia, il est au sud-est ; lors des pertes de l'oued à l'amont de Faouar il passe au nord-ouest ; à Faouar même, il y a presque coïncidence : puis il repasse au nord, aux dernières venues (groupe 3).

On peut en outre remarquer que, comme dans la plupart des cas semblables, le cours souterrain du Bargou est toujours plus direct que le cours aérien dévié à chaque endroit par des méandres.

Quant à la position des griffons des sources, elle ne résulte pas non plus seulement du hasard de la fissuration des calcaires,

mais se trouve toujours au-dessus ou à l'amont d'une couche résistante produisant une « réaction » locale. C'est cette *réaction* qui provoque la sortie des filets d'eau. Ainsi, à Bou-Saadia on a rencontré, à près de 10 mètres en dessous des fissures aquifères, une petite couche de marne jaune. A Faouar, les tranchées de 1909, en vue de compléter le captage, ont rencontré la source sous forme d'une venue multiple et parfois diffuse, sur une vraie couche d'argile colmatant à cet endroit le lit de l'oued à près de 4 mètres de profondeur. Cette couche a été reconnue par des « attaques » jusqu'aux affleurements très redressés de l'aptien inférieur marno-gréseux de l'anticlinal d'amont. Elle renferme par endroit des galets et à une allure trop différente de celle de l'aptien inférieur pour pouvoir en faire partie. Elle s'appuie d'ailleurs déjà à l'amont des travaux sur les calcaires urgo-aptiens. Cette couche fait donc partie des alluvions de l'oued; ses variations de composition résultent des changements de régime produits par des barrages intermittents à l'aval résultant des vicissitudes du cône de déjection du torrent descendant d'El-Rhar.

Les venues inférieures (groupe 3) sortent du bord sud de l'oued sur la même couche, ou une couche argileuse identique.

Les eaux des trois groupes de sources ne sont donc maintenues à leur niveau que par la réaction d'une couche d'argile alluviale, c'est ce qui explique les difficultés que présentent leur captage et leur aménagement.

D'après les altitudes moyennes décroissantes de leurs griffons, ces trois groupes se rangent dans l'ordre suivant : Bou-Saadia, Faouar, groupe inférieur. Les deux derniers offrent des difficultés techniques pour le captage : trop grand éloignement en profondeur de l'aptien marneux, et pour l'adduction : griffons trop bas (utilisation projetée de la chute de 70 mètres de la conduite à l'amont de Faouar pour y amener, par élévation, les venues inférieures). Ils sont cependant favorisés, par rapport au premier, par une constance plus grande de débit résultant de leur altitude moindre : principalement le groupe n° 3 — circonstance très favorable en étiage où le débit des sources supérieures peut tomber très bas, comme en 1905. Aïn Faouar peut même être considérée simplement comme un trop-plein du groupe 3.

Les variations de débit du captage de Bou-Saadia, telles qu'elles résultent de l'examen des feuilles hebdomadaires, ne

représentent pas le débit total de l'oued et des sources, mais seulement une fraction assez complexe de ce débit.

Les quantités d'eau admises dans la conduite de Tunis, jaugées d'ailleurs avec grande précision, offrent des mesures plus sûres même que celles de Zaghouan : les graphiques « corrigés » sont plus voisins des graphiques bruts ; mais où les difficultés se présentent, c'est pour savoir à quelle ouverture de griffon et à quelle décharge correspond chaque portion du graphique brut.

La venue de Bou-Saadia est en effet très complexe. On n'avait d'abord capté que les griffons inférieurs sous le nom de « source de Tunis » ; ce captage présente en outre deux niveaux différents de départ auxquels correspondent deux graphiques de débit différents : le niveau inférieur provoquant une aspiration plus intense correspond à un graphique de débit surélevé, mais à coefficient de tarissement supérieur. Ces deux « départs » sont en outre munis de décharges qui ne paraissent pas contrôlées, au moins par les feuilles hebdomadaires. Les *venues supérieures* avaient d'abord été abandonnées entièrement aux besoins locaux sous le nom de source des Indigènes. Mais, dans le courant du printemps 1907, la plupart des griffons, sinon la totalité, ont été sinon captés pour Tunis, au moins organisés pour permettre leur adduction totale en cas de pénurie. Il faut en outre tenir compte des décharges de ces captages.

Le graphique résultant des feuilles hebdomadaires représente donc : ou Bou-Saadia (Tunis), départ supérieur avec décharge (très hautes eaux) ou sans décharge (hautes eaux), ou Bou-Saadia, départ inférieur avec ou sans décharge (eaux moyennes), ou Bou-Saadia (Tunis) et source des Indigènes avec ou sans décharge (basses et très basses eaux). A chacune de ces circonstances correspond une formule de prévision différente. Les griffons de Bou-Saadia-Tunis offrent surtout des sources de la roche en place d'une constance assez grande, avec des termes encore peu importants provenant du débit de la résurgence.

Les portions de graphique de l'hiver 1906-1907 correspondent au premier départ ; elles offrent à chaque averse des montées très rapides suivies de chutes brusques non imputables à l'ouverture des déchargés (exemple : près de 1.500 mètres cubes en deux jours sur une moyenne de 3.000 à 4.500), et qui suffiraient à prouver l'influence directe de l'oued. Coefficient de tarissement

moyen aussi considérable, exemple : de 4.450 à 2.750, soit : 1.700 mètres cubes en vingt jours, soit la droite :

$$dQ + 85 dt = 0$$

qui ne peut guère représenter qu'un cours d'eau torrentiel ou une source avec un *contour libre* présentant une surface énorme. Ces portions sont d'ailleurs trop peu étendues pour permettre le calcul d'aucune formule de prévision. Ce n'est qu'à partir du mois de juin que l'ouverture du captage des Indigènes m'a offert un graphique d'épuisement assez étendu.

Le graphique d'épuisement (Bou-Saadia + Indigènes) s'écarte autant d'une exponentielle que d'une hyperbole.

Aucune série exponentielle entière ne le représente d'une manière satisfaisante. J'ai posé :

$$q = Q + \varphi$$

avec

$$Q = 4.604 - 6.167 \times 10^{-0,0025963t} + 8.306,5 \times 10^{-0,0051926t}$$

et

$$\varphi = \frac{478,47}{1 + 0,03117 \times 10^{0,03807t}}$$

Les écarts de cette formule avec les ordonnées du graphique « corrigé » résultent du tableau suivant :

t Q mesuré	$\delta = Q \text{ mes.} - Q \text{ calc.}$	$Z_0 = 0,55$
100	3.720	— 2,34
86,84	3.870	— 7,47
74,65	4.075	— 0,06
63,25	4.315	— 9,23
52,64	4.610?	— 27,40
42,63	4.985	— 28,70
33,19	5.430	+ 0,40
24,25	5.865	+ 9,23
15,77	6.315	+ 27,48
0	7.198	+ 0,2

Ces différences varient d'une manière assez régulière ; on pourrait diminuer leurs maximums en employant deux termes de plus ; mais l'écart total : 57 mètres cubes, ne représente qu'un peu plus

de 1/2 millimètre du graphique à l'échelle; il est donc inférieur aux erreurs accidentelles.

Cette forme de la formule de prévision paraît inattendue. Elle s'explique, comme on l'a vu, par l'influence de la *transpiration végétale*. Cette transpiration est ici plus intense que sur le Zaghouan : elle s'exerce d'abord directement au voisinage du cours d'eau aérien couvert d'une végétation luxuriante d'arbres de haute futaie avec lianes par endroits. Or, les filets d'eau souterrains ne sont jamais très éloignés, ni en plan ni en profondeur, de cette forêt. Il faut en outre compter, surtout dans ces venues supérieures, des filets d'eau de la plaine peu perméable et couverte de brousse au nord-est de Soudga. Le terme φ ne représente pas toute la *reprise estivale* déjà commencée au début du graphique, mais une limite inférieure; le point d'inflexion de cette fonction doit correspondre à celui de la courbe (I) de la figure 6. Pour t infini, φ prend la valeur 478,5 mètres cubes. Telle semble être, à quelques dizaines de mètres cubes près, l'influence de cette reprise estivale (terme variable).

Dans l'hiver 1907-1908 on a un graphique présentant les mêmes sinuosités brusques qu'en 1907. La période d'épuisement suivante offre trois tronçons brusques correspondant à deux vannages ou à deux départs différents.

Le premier tronçon donnerait pour $t=488$, $Q=7.780$ et pour $t=501$, $Q=6.290$. Une exponentielle simple donnerait $\alpha=0,0071$, d'ailleurs inadmissible.

Si on y prenait, comme en 1907, $\alpha=0,0025963$, on aurait :

$$(1) \quad Q = 34.988 - 78.721 \cdot 10^{-\alpha t} + 51.513 \cdot 10^{-2\alpha t}.$$

Le peu de longueur de cet arc ne permet pas l'appréciation des perturbations.

Après la fermeture de la première décharge, la valeur de Z rendant minimum les différences troisièmes est voisine de $Z=0,57$, ce qui correspond à $\alpha=0,0024412$.

On a alors :

$$(2)^* \quad Q = -12.451 + 66.691 \cdot 10^{-\alpha t} - 89.259 \cdot 10^{-2\alpha t} \\ + 41.921 \cdot 10^{-3\alpha t}.$$

Les quatre points ayant servi correspondent aux valeurs de

$t : 0 ; 7,816 ; 15,99 ; 24,56$, soit assez rapprochées pour déterminer l'arc de courbe — $\Delta_1 = 535 ; \Delta_2 = 115 ; \Delta_3 = 20$.

Série entière, mais *non rapide*, résultant de la complexité de la venue.

Enfin dans l'été, avec la fermeture des deux décharges, on a eu : ($t = 530 ; Q = 5.820$ et $t = 630 ; Q = 3.720$). $Z = 0,7$; d'où $\alpha = 0,0015489$, et :

$$(3) \quad Q = 8.129 - 15.535 \cdot 10^{-at} + 13.194 \cdot 10^{-2at}.$$

Les écarts maximums Q mes. — Q calc. varient de -54 à $+32$; ils sont donc plus grands qu'avec les autres formules. Cela tient à la grande longueur de l'arc considéré. Les variations de cet écart sont régulières et pourraient se représenter par un terme correctif de même forme que celui de 1907. Ce terme serait ici très faible : on peut même le considérer comme négligeable.

Une anomalie semble résulter de la quasi-absence de ce terme correctif en 1908, où la transpiration estivale a été plus forte qu'en 1907, au point de s'être fait sentir comme on l'a vu au Zaghouan. Or, l'époque du maximum de dépression à la Nymphée tombe juste au moment du début du graphique considéré. Le point d'inflexion tombe donc aussi vers cette époque : la perturbation est donc moins variable et plus régulière qu'en 1907 ; elle affecte donc simplement les coefficients de la série entière sans nécessiter l'adjonction d'une fraction rationnelle. De plus, ce graphique représente, non pas comme en 1907 la somme des sources de Tunis et des Indigènes, mais probablement seulement la première, toutes décharges fermées. Or, on sait que c'est la source des Indigènes, source haute, qui doit être surtout affectée par la transpiration estivale. Cette restriction paraît aussi résulter de la grande différence des exposants principaux.

Sous ces conditions, le débit de cette source peut se mettre sous la forme d'une différence de deux termes : le terme positif correspondant à une sortie, le terme négatif à une rentrée, chacun des deux termes représentant le débit d'une source à seuil très élevé, comme il semble devoir en être ainsi dans ces calcaires fissurés, loin de la couche imperméable inférieure.

On peut apprécier, au moyen de résultats fournis par les trois formules, l'ordre de grandeur du débit de la décharge et même celui de la chute de débit résultant de la transpiration.

La formule (3) pour $t=42$ donne :

$$Q = 8.129 - 18.045 + 17.800 = 7.884.$$

Or le débit mesuré est : 7.780. Différence + 104.

La formule (1) donne pour $t=-42$:

$$Q \text{ cale} = 4.925. \text{ Or, } Q \text{ mes. sans décharge} = 5.820.$$

Débit de la décharge pour $t=-42$: 895 mètres cubes, mettons 900 mètres cubes.

Il semble donc y avoir vers juillet et août une dépression du graphique de l'ordre de $895 - 104 = 791$ mètres cubes, mettons d'au moins 600 à 700 mètres cubes. Or, en 1907 la correction φ donnait des valeurs de 450 à 500 mètres cubes au plus, soit inférieures à celles de 1908 (plus grande humidité de l'été).

En 1909, on a une crue d'hiver très rapide, mais on ne sait à quelle disposition du captage il faut la rapporter. Ce qui est plus intéressant cette année-là, c'est l'étude des jaugeages directs de l'oued Bargou effectués au point de vue des pertes et des captages projetés des groupes inférieurs. Le graphique des débits rapportés au même jour de la semaine, à partir du 23 janvier 1909, fait l'objet de la figure 22. Comme on le voit, le débit total est passé de 15.000 mètres cubes, en fin janvier, à 14.328 vers le 12 mars, et à 85.000 vers le 23, à la suite de pluies très considérables du 20 au 25.

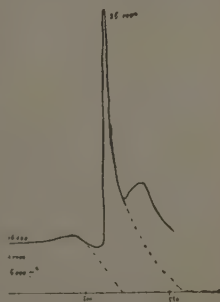


Fig. 22.

A Bou-Saadia, on releva dans cette période 119 millimètres de pluie, à Soudga 94,7 (dans la plaine sud-ouest au pied des montagnes). Admettons comme moyenne 110 (le poids de Bou-Saadia devant être supérieur à celui de Soudga).

D'autre part, l'aire totale comprise entre le graphique corrigé et les deux courbes d'épuisement encadrant cette période correspond à 948.300 mètres cubes. Si l'on admettait donc que toute cette pluie : infiltration et ruissellement ait passé par le couloir du jaugeage, on aurait une surface de bassin-versant de : $\frac{948.500}{0,11}$
 $= 8,62$ kilomètres carrés.

Or, jamais l'infiltration instantanée et le ruissellement, surtout dans la brousse de Soudga, ne représentent la pluie totale. D'autre

part, on est à la fin de l'hiver où la saturation est achevée depuis longtemps; de plus cette saturation n'est ici *pas longue*, à en juger par le peu de durée de l'« établissement » de la source de Bou-Saadia. On a donc cependant affaire ici à des pluies d'*alimentation et d'entraînement partiel*. Cette valeur du bassin-versant est donc affectée d'une correction positive (peut-être 10 %) et d'une correction négative provenant de ce que le coefficient d'infiltration apparente est ici supérieur au coefficient d'infiltration totale, comme pour la même période au Zaghouan. A la Nymphée, ce coefficient atteignait $1,4 \times 0,9 = 1,26$. Ici où la saturation est moindre, on peut admettre à peine 1,1 d'où encore une correction négative voisine de 10 %. Ces deux corrections se détruisent donc à peu près et l'on n'est pas loin de la vérité en admettant pour le bassin-versant une surface de 8,5 : i kilomètres carrés.

Dans le même moment, les feuilles hebdomadaires accusaient des débits de 7.000 à 8.000 mètres cubes. On voit donc que, si toutefois on peut parler de bassin-versant pour un ensemble aussi complexe que les sources de Bou-Saadia, le captage même total ne draine encore qu'une partie assez faible, moins de la moitié du périmètre à l'amont. D'autre part, s'il est bien certain que les venues de Bou-Saadia contiennent une vraie source de la roche en place du djebel Gueltaoui (exsurgence), la surface totale des calcaires jusqu'à la crête est insuffisante pour fournir ce débit, par suite cette source s'accompagne d'eaux provenant du périmètre superficiel situé à l'amont (résurgence de l'oued Bargou supérieur).

On peut remarquer que le bassin de réception total de l'oued Bargou limité au nord-ouest à la crête de la montagne du même nom et au sud-est à celle des djebels Gueltaoui et Kef-ech-Chergui (points 1080 et 956), si l'on y comprend en outre le mamelon central du djebel el-Oust dont les sources, comme Ras-el-Oued, alimentent l'oued Bargou; ce bassin offre une surface presque double. On serait donc amené en partant de cette donnée purement géologique à admettre un coefficient d'infiltration totale (avec ruissellement) voisin de 0,5 seulement, d'où une apparente contradiction avec le résultat précédent.

Cette anomalie me semble devoir comporter l'explication suivante. Le graphique de la figure 22 montre que, comme la source

de Bou-Saadia, le débit de l'oued est une somme de deux termes : un terme à variations lentes provenant des sources aériennes et souterraines de la couche des calcaires urgo-aptiens qui forme au dôme une carapace interrompue, voisin ici de 15.000 mètres cubes, et un terme à variations rapides correspondant au ruissellement sur l'aptien inférieur marneux. Or, ce terrain offre des pentes qui suivent les pendages tectoniques, par suite sont parfois rapides et en bien des endroits favorables au ruissellement torrentiel; il apparaît de plus dans toutes les *fenêtres* étendues que présente la couverture calcaire. Or, la surface totale de ces affleurements n'est pas loin de former la moitié de celle du périmètre total indiqué plus haut. On peut voir en outre là une nouvelle preuve de la nature complexe de toutes ces sources.

X — Conclusions

J'ai essayé de montrer par cette étude, dont j'ai dû réduire la partie géologique pour ne m'attacher ici qu'aux données intéressant directement l'hydraulique souterraine, et que j'ai dû aussi limiter aux trois années 1907, 1908 et 1909 au point de vue des débits et des chutes de pluie, de quelle manière les résultats offerts par ces deux sciences peuvent se combiner pour arriver à la connaissance d'une « Région hydrologique ». Ce travail venant après de remarquables précédents n'a pas la prétention d'ouvrir la voie; en particulier les résultats relatifs aux sources étudiées ne peuvent avoir la généralité de ceux qu'a obtenus, par exemple, M. Edmond Maillet pour les sources des environs de Paris, fondés sur des déterminations certaines échelonnées sur de nombreuses années. Mais si les présents résultats ne peuvent prétendre à l'ampleur de ceux qu'a obtenus l'éminent ingénieur, ils me semblent cependant offrir quelque intérêt au point de vue spécial du Nord de l'Afrique.

J'appellerai avec M. Boussinesq et M. E. Maillet « sources hydrauliquement équivalentes » celles pour lesquelles :

$$\frac{KH}{\mu L^2} = \frac{H}{m L^2} = c^w.$$

Elles ont alors, quand l'épuisement a ramené leur graphique de débit à la forme exponentielle simple, mêmes coefficients de

tarissement. Parmi les sources étudiées, une seule, aïn Ayed possède une formule exponentielle. Son coefficient de tarissement est près de sept fois moindre que celui de la Nymphée : d'autre part, ceux de la Nymphée et d'aïn Ziga sont assez voisins.

On peut remarquer à ce point de vue que toutes ces sources, sauf aïn Ayed et peut-être aïn Djoukkar, ont des « coefficients de tarissement » assez grands, supérieurs à la moyenne de ceux des sources des calcaires pourtant fissurés de France. Cela tient souvent à la hauteur des seuils (Zaghouan, Bargou), et à la grande valeur du coefficient de conductibilité K de ces calcaires fissurés et souvent cariés même en profondeur.

On peut dans le Nord de l'Afrique considérer d'après le « site géologique » des sources de plusieurs types.

Type Ayed (Zaghouan). — Seuil élevé formé par une ceinture imperméable colmatant latéralement un massif aquifère élevé et profond. Hauteur au-dessus du seuil de la ligne de faite de la surface libre, faible par rapport à la profondeur de la nappe. Graphique d'épuisement : *exponentielle simple* établie rapidement.

Type Nymphée (Zaghouan). — Même disposition que précédemment de l'« appareil interne » ; mais ligne de faite de la surface libre beaucoup plus haute au-dessus du seuil. Formule d'épuisement : polynôme entier ou *série entière exponentielle* à un exposant α — ou d_0 — avec moins de termes et deux exposants α, β .

Type aïn Ziga. — Source thermale sédimentaire remontant d'un réservoir à affleurements périphériques et *faible capacité*. Graphique d'épuisement (Cf. forage artésien) à peu près *rectiligne*.

Type Djoukkar. — Source filonienne remontant près du contact des affleurements, d'une nappe captive en relation latérale avec un réservoir élevé et de forte capacité. Alors deux régimes : 1° l'un correspondant aux hautes eaux dans le réservoir : hauteur de la surface libre dans ce réservoir très grande par rapport à celle du seuil (dans la nappe captive) : graphique d'épuisement : *hyperbole équilatère* ; 2° l'autre correspondant aux basses eaux dans le réservoir et à la baisse dans la nappe captive : graphique d'épuisement : *une droite tangente à l'hyperbole* (différente de l'asymptote de cette dernière).

Type Bargou. — Sources complexes : pouvant se ramener à une source à seuil élevé, type Zaghouan par exemple, mélangée avec le cour d'un ruisseau mi-souterrain à régime très variable. Formule d'épuisement, série entière exponentielle, ou fraction rationnelle, ou *somme de deux termes*, le premier à exposant α encore faible ($Z=0,7$) [exemple formule d'été 1908, n° 3] comme pour la Nymphée (source), le deuxième à exposant β ($Z < 0,55$, celui de la formule de 1907 avec la source des Indigènes) supérieur, correspondant à la résurgence partielle du cours d'eau. Ici, grande influence de la *reprise par l'atmosphère* : formules de prévision moins certaines et plus difficiles à établir.

Des études ultérieures établies sur de plus longues séries de déterminations modifieront les coefficients assignés plus haut ou nécessiteront peut-être l'introduction de nouveaux termes : je ne pense cependant pas qu'elle doivent entraîner des modifications de forme importantes des expressions indiquées plus haut.

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE

DE LA

Jonction ancienne de la Moselle et de la Meuse

PAR LE VAL DE L'ANE

Par M. René NICKLÈS

Je ne voudrais pas reprendre en détail cette question assez délicate et déjà fréquemment discutée de la Moselle affluent de la Meuse. Je me propose seulement de consigner ici les constatations que j'ai pu faire par suite de l'ouverture récente d'une tranchée d'accès d'une carrière, à proximité du moulin de Longor, près de Pagny-sur-Meuse : cette tranchée, visitée par la Société des Sciences le 11 juin, a révélé deux faits importants :

1° *La présence en grande épaisseur d'alluvions avec galets de granite;*

2° *L'existence d'Élephas primigenius dans ces alluvions.*

C'est sur ces deux faits, éloquents en eux-mêmes, que je voudrais insister.

Le regretté Bleicher a, dans une bibliographie⁽¹⁾ consciencieuse, cité les divers auteurs, en particulier Buvignier, Godron, Husson, M. Douvillé, Wohlgemuth, M. Davis, de Lapparent et M. Vélain, qui ont publié des études plus ou moins détaillées sur la jonction de la Moselle et de la Meuse à Pagny-sur-Meuse.

Ces études également intéressantes peuvent se répartir en deux sections, l'une purement géographique, l'autre utilisant le peu

(1) *Bulletin de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie*, 2^e série, t. III, p. 89 et suiv. Bruxelles, 1900.

de documents géologiques dont on disposait jusqu'à ces derniers temps.

Les documents géographiques consistent surtout dans les apparences fournies par le relief topographique ; par la décroissance des cotes d'alluvions depuis la région de Toul ; par l'aspect de cette vallée à *grande allure* aux abords du Val de l'Ane, à grande allure plus visible encore sur le terrain que sur la carte, aspect qui, le 10 août 1898, faisait dire à Foug, à un des membres de la Société belge de géologie : « Non seulement on voit la vallée, mais on la voit si bien, qu'instinctivement on y cherche la Moselle coulant vers le Val de l'Ane ! »

Dans un remarquable travail, M. Vidal de Lablache (1) a justement qualifié cette vallée de « tombeau de rivière ».

Ces impressions de surface ont une valeur incontestable ; mais il était bon que les observations géologiques vinssent les confirmer.

Or, pendant longtemps, les documents géologiques ont persisté à ne pas se révéler : Wohlgenuth considère à juste raison les alluvions anciennes de la Moselle au Val de l'Ane comme « cachées par les éboulis des calcaires coralliens (grouines) ». Elles le sont aussi et les éboulis également par la « ligne noire tourbeuse traversant les marais de Pagny », dont il parle plus loin.

Ce fait a été confirmé lors de la construction des usines de ciment de Pagny-sur-Meuse : au-dessous d'une couche tourbeuse on a trouvé une assise de graviers de calcaires rauraciens. Dans une construction industrielle voisine et abandonnée avant son achèvement, on avait, paraît-il, constaté la même coupe de haut en bas, couche tourbeuse, puis assise de graviers, et enfin, fait plus important, au-dessous des graviers, *une masse de sables bouillants* qu'on avait eu grand'peine à traverser pour asseoir les fondations de la cheminée.

La présence de ces sables bouillants est très importante à retenir : dans la tranchée du moulin de Longor nous retrouverons plus loin un terme analogue, sinon équivalent.

Enfin, à la suite du Congrès de la Société belge de géologie, M. Cavallier, administrateur-directeur général des hauts four-

(1) VIDAL DE LABLACHE, *Étude sur la vallée lorraine de la Meuse*. Paris, 1908 (Armand Colin).

neaux et fonderies de Pont-à-Mousson, avait gracieusement fait exécuter un sondage à la ferme de Savonnières où, au-dessous de graviers rauraciens, la sonde a rencontré des alluvions anciennes de la Moselle.

Que l'on déduise maintenant de la cote d'altitude du fond du Val de l'Ane l'épaisseur de la couche tourbeuse et l'épaisseur des graviers calcaires recouvrant les alluvions — épaisseurs encore à évaluer — et le fond du Val de l'Ane sera encore plus bas qu'il n'est actuellement, remblayé qu'il est maintenant depuis que la Moselle a cessé d'y passer.

Ainsi, de la région de Toul à Pagny-sur-Meuse, partout où on a creusé suffisamment, au-dessous de la couche tourbeuse et des graviers calcaires on a trouvé les alluvions anciennes de la Moselle.

Et si l'on tient compte, d'autre part, de ce fait probable que la surface supérieure des terrasses d'alluvions anciennes de la Moselle a dû subir une forte dégradation de la part des agents atmosphériques, on arrive à cette conclusion que cette surface supérieure pouvait être à une cote plus élevée qu'elle ne l'est actuellement. La diminution progressive des cotes, depuis Toul jusqu'à Pagny par le val de l'Ane, se trouve ainsi rétablie comme elle était primitivement, et ainsi pourra sans doute être levée l'objection qu'on faisait à l'ancienne Moselle de ne pas avoir eu assez de pente ni par suite assez de courant pour pouvoir transporter de gros galets des environs de Toul à Pagny-sur-Meuse.

Mais, en matière d'alluvions, il y a des nuances qu'il ne faut pas oublier. Les alluvions de la Moselle sont riches en galets de granite peu ou pas altérés; les alluvions anciennes en renferment moins, mais cependant assez fréquemment assez pour que ces galets ne puissent passer inaperçus dans un examen de quelques instants. Il faut toutefois que les alluvions observées soient étudiées en tranchées, non en affleurements. En tranchées les galets de granite y sont souvent en partie décomposés, friables, les variations de température provoquant, comme on sait, le clivage des cristaux de feldspath. Pour peu qu'ils aient séjourné aux affleurements, ils achèvent de se décomposer et les galets de quartzites dévonien (*Taunusquartzit*) seuls restent, avec des galets de quartz blanc et les lydienes plus rares.

C'est ainsi que les alluvions anciennes de la Moselle prennent

aux affleurements, par la disparition des galets de granite, un aspect tout à fait analogue, sinon identique au « diluvium ancien des plateaux » qui ne renferme que des galets de quartzite et de quartz.

On comprend dès lors les scrupules de Bleicher et l'opinion émise par lui qu'*au point de vue de la composition des alluvions*, rien ne démontrait en 1898 le passage des eaux de la Moselle dans le bassin de la Meuse à Pagny. Cette conclusion lui avait été dictée par le désir de voir la question se résoudre avec toute la rigueur scientifique désirable. J'ai la certitude qu'il aurait été le premier à se réjouir des documents affirmatifs donnés par la tranchée du moulin de Longor.

Le Moulin de Longor. — Le moulin de Longor, auprès duquel se trouve la tranchée qui met au jour ces alluvions anciennes de la Moselle, est situé à 2 kilomètres environ au sud de Pagny-sur-Meuse. La tranchée destinée à raccorder la voie ferrée avec la carrière de calcaires rauraciens située plus haut dans la colline, montre nettement le bord de l'ancien lit. La paroi rauracienne coupée obliquement par l'ancien cours d'eau, supporte des sables argileux recouverts par des graviers calcaires. Le lit actuel de la Meuse est à 30 ou 40 mètres au plus : on n'est donc pas loin de l'ancien confluent, la Meuse n'ayant pu autrefois être plus rapprochée de la côte, puisqu'elle coule à son pied.

Mais là n'est pas le point le plus intéressant de la tranchée. La photographie ci-jointe montre la coupe suivante :

1° A la partie supérieure, des graviers calcaires (éboulis meubles sur les pentes) situés au-dessus et en dehors du champ de la photographie ;

2° Au-dessous, des *sables argileux* sur 1 ou 2 mètres d'épaisseur, entamés par endroits par les éboulis calcaires ;

3° Au-dessous une couche variable de 50 à 60 centimètres et même plus, d'un *sable blanc très friable*, non cimenté, s'éboulant au moindre contact, sans consistance aucune : imprégnée d'eau, cette couche répondrait parfaitement aux sables bouillants dont j'ai parlé plus haut. *Ce sable blanc est micacé* : son origine granitique ne peut être mise en doute ;

4° Au-dessous un conglomérat cohérent constitué par du sable siliceux grossier et des galets très nombreux de quartzites dévo-

niens, quartz blanc, lydiennes et galets de granite. Dans ce conglomérat on a trouvé divers ossements, dont une défense d'éléphant qui paraît, en raison de son diamètre (19 centimètres) pouvoir se rapporter à *E. primigenius*. Ce conglomérat a au-dessous un degré de cohésion bien moindre. Les éléments en sont de taille variable : certains des galets de granite ont exceptionnellement jusqu'à 17 centimètres de diamètre ; leur grosseur moyenne varie de 2 à 10 centimètres de diamètre. Les galets autres que le quartzite et le quartz sont constitués par du granite gris à grain fin, de la granulite, de la pegmatite ; du granite à amphibole (plus rare), — du gneiss, du porphyre pétrosiliceux, — quelquefois par du grès vosgien qui a résisté, par suite sans doute d'un ciment siliceux plus abondant qui lui a donné une dureté plus grande.

Ces alluvions ont été fouillées à 5 ou 6 mètres de profondeur, et n'ont pas présenté de changement.

Il est indiscutable qu'elles présentent une différence capitale avec le « diluvium des plateaux constitués uniquement par des quartzites », à de rares exceptions près. La quantité de galets de granite est trop considérable ici pour qu'on ne puisse assimiler ces alluvions aux alluvions anciennes de la Moselle. Sur la défense d'*Elephas* on voit adhérents à la surface plusieurs petits galets de granite ; les galets de granite recueillis dans la tranchée sont ou très altérés et friables, ou seulement altérés légèrement : plusieurs ne paraissent pas altérés et ne seraient certainement pas effrités aux affleurements.

Conclusion. — Je ne crois pas qu'il soit exagéré de dire que les trois zones du moulin de Longor, alluvions et conglomérat — sables blancs micacés — sables argileux nous retracent en quelque sorte la fin de la communication de la Moselle et de la Meuse, et en fixent la date par la défense d'*Elephas* trouvée dans le conglomérat.

Aux conglomérats et alluvions correspond une période de courant rapide : c'est l'époque de la pleine communication.

Aux sables fins qui semblent bien être l'équivalent des sables bouillants, correspond un ralentissement dans la vitesse de ce courant ; la Moselle commençait à être saignée à l'est.

Aux sables argileux semble correspondre une période maréca-

Alluvions anciennes de la Moselle près du Moulin de Longor
(Pagny-sur-Meuse).



E., éboulis ; — Sm., sables argileux ; — S., sable blanc micacé ; C., conglomérat et alluvions renfermant des galets de granite.

geuse, période de stagnation qui a été recouverte en dernier lieu par les éboulis de surface ou graviers calcaires.

1° En résumé, les alluvions constatées au moulin de Longor sont bien du type des alluvions anciennes de la Moselle ;

2° La Meuse, en amont de Pagny, ne présentant nulle part à ma connaissance d'alluvions granitiques, elles confirment l'hypothèse de la communication ancienne de la Moselle et de la Meuse ;

3° L'époque où cette communication touchait à sa fin est contemporaine, dans la région de Pagny-sur-Meuse comme dans celle de Toul, de l'existence des éléphants et probablement de *E. primigenius*.

